



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“Humedal Artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la
3^{ra} Brigada de Fuerzas Especiales, batallón de servicios N° 300, Distrito de
Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín”**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario

AUTORES:

Bach. Jorge Luis Rubio Chinguel

Bach. Alexis Michel Montenegro Quiroz

ASESOR:

Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N° 6050117

Moyobamba – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



“Humedal Artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3^{ra} Brigada de Fuerzas Especiales, batallón de servicios N° 300, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín”

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario

AUTORES:

Bach. Jorge Luis Rubio Chinguel
Bach. Alexis Michel Montenegro Quiroz

Sustentada y aprobada el día 28 de mayo del 2018, ante el honorable jurado:


.....
Blgo. M. Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación
Presidente


.....
Ing. Angel Tuesta Casique
Secretario


.....
Lic. M. Sc. Carmela Elisa Salvador Rosado
Miembro


.....
Ing. M. Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Jorge Luis Rubio Chinguel, identificado con DNI N° 72743157 y **Alexis Michel Montenegro Quiroz**, identificado con DNI N° 47020095, bachilleres de la Facultad de Ecología, de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada **“Humedal Artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ª Brigada de Fuerzas Especiales, batallón de servicios N° 300, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín”**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. Hemos respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 28 de mayo del 2018.




.....
Bach. Jorge Luis Rubio Chinguel
DNI N° 72743157




.....
Bach. Alexis Michel Montenegro Quiroz
DNI N° 47020095

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: RUBIO CHINGUEL JORGE LUIS	
Código de alumno : 105229	Teléfono: 910359876
Correo electrónico : rubidio1993@gmail.com	DNI: 72743157

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ecología
Escuela Profesional de: Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: Humedal artificial Sub-Superficial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ra Brigada de Fuerzas Especiales, Batallón de Servicios N° 300, 2 distrito de Riosa, Provincia de Riosa departamento de San Martín, 2015"
Año de publicación: 2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

29 / 10 / 2018




Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

*** Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Montenegro Quiroz Alexis Michel		
Código de alumno :	105223	Teléfono:	
Correo electrónico :		DNI:	

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ing. Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Humedal artificial sub-superficial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ra Brigada de Fuerzas Especiales Batallón de Servicios N° 300, distrito de Ríca, provincia de Ríca, departamento de San Martín, 2015
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

29 / 10 / 2018




Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres, quien han guiado los pasos de mi vida, a Dios quien siempre me dio la fortaleza de seguir adelante, a mi alma mater por su dedicación e inspiración.

Jorge Luis Rubio Chinguel

A Dios por darme la vida y salud necesarias para culminar esta etapa de mi vida, y especialmente a quien, desde el primer momento de su existencia, lleno mi vida de amor y fortaleza. A quien es el aliento e inspiración para seguir adelante con mi vida y no desfallecer a mi hijo Alexis Giancarlo.

Alexis Michel Montenegro Quiroz

AGRADECIMIENTO

A la Oficina de Investigación y Desarrollo de la UNSM-T, por el financiamiento a la presente investigación.

A mi asesor de tesis Ing. MSc. Yrwin Francisco Azabache Liza, por el apoyo en la realización de este trabajo y por las aportaciones brindadas.

A mis padres luz delia Chinguel Neyra y Miguel Antonio Robalino Encina, porque siempre han estado ahí ayudando a forjar mi formación personal y profesional.

A mis padres José Nilser Montenegro Rojas y Magaly Quiroz Flores, porque siempre han estado ahí ayudando a forjar mi formación personal y profesional.

Los autores.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: REVISION BIBLIOGRAFICA	4
1.1. Antecedentes de la investigación	4
1.2. Bases teóricas	6
1.3. Definición de términos básicos	19
CAPITULO II: MATERIAL Y METODOS	21
2.1. Materiales de investigación	21
2.2 Métodos y técnicas.	21
CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES	25
3.1. Resultado 1: Diseño y construcción del humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal	25
3.2. Resultado 2: Caracterización de las aguas residuales domésticas	29
3.3. Resultado 3: Capacidad de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos aplicando los humedales artificiales	32
3.4. Resultado 4: Comparación con los LMP para PTAR	38
3.5. Discusión de resultados.	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterizacion del efluente de la fosa septica.....	29
Tabla 2: Resultado del muestreo del HAFSS	30
Tabla 3: Disminución de los parámetros de evaluación	31
Tabla 5: Porcentaje de remoción de los contaminantes	33
Tabla 6:Comparacion de resultados del efluente con los LMP	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Resultado del muestreo de HAFFSS	29
Figura 2: Resultado del muestreo del HAFFSS	31
Figura 3: Disminución de los contaminantes sin planta y con planta HAFFSS	32
Figura 4: Porcentaje de remoción	33
Figura 5: Función de correlación de la turbidez	34
Figura 6: Función de correlación de la temperatura	35
Figura 7: Función de correlación de STS	35
Figura 8: Función de correlación de pH	36
Figura 9: Función de correlación de cloruro de sodio	36
Figura 10: Función de correlación del oxígeno disuelto	37
Figura 11: Comparación de resultados del efluente con los LMP	39
Figura 12: Comparación de turbiedad	40
Figura 13: Comparación de pH.....	40
Figura 14: Comparación de temperatura	41
Figura 15: Comparación de conductividad.....	42
Figura 16: Comparación de sólidos totales suspendidos	42
Figura 17: Comparación de cloruro de sodio	43
Figura 18: Comparación de resistividad	44
Figura 19: Comparación del porcentaje de oxígeno disuelto	44
Figura 20: Comparación del oxígeno disuelto.....	45
Figura 21: Comparación del DBO5	46
Figura 22: Comparación de los coliformes fecales.....	46

RESUMEN

El trabajo de investigación de tipo aplicada con nivel experimental “Humedal artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ra brigada de fuerzas especiales” surge como alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas producidas en la base contrterrorista de Rioja. La elaboración de la parte experimental de la presente investigación tuvo origen en la base contrterrorista N°300, Rioja, desde agosto del 2015, tiempo que incluye la instalación y toma de muestras.

Para determinar la eficiencia se tomaron muestras en dos puntos. El primer punto a la entrada del humedal artificial (agua pre-tratada) y la segunda a la salida del humedal de la misma (agua residual tratada). El comportamiento de la planta herbácea juncos se asocia a la facultad que poseen sus raíces de crear una comunidad bacteriana que metaboliza el nitrógeno y el carbono orgánico, esta característica facilita la eliminación de contaminantes en el agua residual, la eficiencia de remoción para el DBO_5 llega a 98.15%, SST es de 89.13%.

Se realizó la comparación de los parámetros antes nombrados con los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales, según el decreto supremo N°003-2010 MINAM.

Como resultado de la investigación, se pudo determinar que el uso de humedales artificiales sub-superficiales de flujo horizontal en la recuperación de las aguas residuales domésticas con la planta herbácea juncos es eficiente, en contrastación de resultados obtenidos, además de ello los humedales no presentaron malos olores, encharcamiento, ni presencia de vectores sobre su superficie.

Palabras clave: Humedales, flujo, juncos, aguas residuales domésticas.

ABSTRACT

The research work "Artificial wetland in the treatment of domestic wastewater of the 3rd brigade of special forces" emerges as an alternative treatment of domestic wastewater produced in the counter-terrorist headquarters of Rioja. The preparation of the experimental part of the following investigation originated in the counterterrorist headquarters N ° 300, Rioja, since august 2015, time that includes the installation and sampling.

To determine the efficiency, samples were taken at two points. The first point at the entrance of the artificial wetland (pre-treated water) and the second at the exit of the wetland (treated waste water). The behavior of the rushes herbaceous plant is associated with the ability of its roots to create a bacterial community that metabolizes nitrogen and organic carbon, this feature facilitates the elimination of contaminants in the wastewater, the removal efficiency for BOD₅ reaches 98.15% and for SST the efficiency is 89.13%.

The comparison of the aforementioned parameters with the maximum permissible limits for the effluents of domestic and municipal wastewater treatment plants was carried out, according to the supreme decree N ° 003-2010 MINAM.

As a result of the investigation, it was possible to determine that the use of sub-surface artificial wetlands of horizontal flow in the recovery of domestic wastewater with the rushes herbaceous plant is efficient, in addition the wetlands did not present bad smells, ponding, or presence of vectors on its surface.

Keywords: Wetlands, flow, juncos, reeds domestic sewage.



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, con el crecimiento poblacional y la demanda diaria del recurso agua, su contaminación se ha incrementado de forma acelerada y su calidad ha disminuido a tal límite, que cada vez para más personas se vuelve difícil el acceso a este recurso en grandes cantidades y en buenas condiciones para el consumo humano.

En el país, solo se realiza el tratamiento del 29.1% de las aguas residuales domésticas, el resto se vierte en los mares, lagos y ríos provocando un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud de las personas.

En la región San Martín, la aplicación de un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales resulta muy limitado, un sector grande de la región no cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de uso doméstico, otras están a nivel de ejecución, algunas ya cuentan con una PTAR, pero aún no están operativas; y en el resto de la región las PTAR ya no están en funcionamiento, pues los sistemas han colapsado debido al mal manejo de su operación y mantenimiento. En la base contrterrorista de la ciudad de Rioja, las aguas residuales domésticas se descargan sin ningún tratamiento a un pozo, siendo este un punto infeccioso de enfermedades, y en otras zonas de la ciudad se descargan directo a las calles y en la parte rural se instala silos que de igual manera son puntos infecciosos, de contaminación al subsuelo, a las aguas subterráneas y genera vectores de enfermedades.

Es por ello que se ha analizado esta problemática “¿Cuál es la eficiencia del humedal artificial de flujo sub-superficial en tratamiento de las aguas residuales, en la 3ra brigada de fuerzas especiales, batallón de servicios N°300, Rioja?”, planteándose solucionar mediante un sistema de tratamiento de aguas residuales que sea factible realizarlo, económicamente rentable y que no demande un problema en la operación y mantenimiento del sistema. Frente a ello se elabora el diseño y construcción de un humedal artificial sub superficial de flujo horizontal que tiene por función depurar las aguas residuales de uso doméstico.

El objetivo general que persiguió la presente investigación fue: Evaluar la eficiencia del humedal artificial aplicando la especie *Juncos* en el tratamiento de aguas residuales domésticas; para ello se determinó el diseño e instalación de un humedal artificial utilizando la especie juncos y el filtro de grava para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la base contrterrorista – Rioja, y se caracterizó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (temperatura, pH, turbidez, sólidos suspendidos totales, DBO₅ y coliformes fecales), se determinó la remoción de los parámetros del efluente final del humedal artificial aplicando la especie Juncos y se comparó los valores del efluente del humedal artificial con los valores de los Límites Máximos Permisibles para efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales. Con estos resultados se evaluó la eficiencia del humedal artificial.

En el capítulo I se ha realizado toda la compilación bibliográfica, referida a la acción de los humedales y sus distintos tipos, en el trabajo de la depuración de las aguas residuales, la carga orgánica que estas reducen, su acción y trabajo con las plantas hidrófilas de distintos tipos que actúan en la misma. En el capítulo II, se describen los materiales y métodos utilizados en la elaboración práctica de la tesis, los procedimientos llevados para obtener información requerida en el presente trabajo de investigación. En el capítulo III ha descrito los resultados obtenidos en el trabajo de la remoción y eficiencia del humedal aplicado a estas aguas residuales domésticas, se evaluó la eficiencia del humedal sub superficial mediante los parámetros ya descritos, dichos valores han servido para la elaboración de conclusiones y recomendaciones descritas.

Este trabajo surgió de la necesidad de optar por nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas servidas de la base contrterrorista ya que no cuentan con tratamiento y además no cuenta con un punto donde desembocar y son acumulados en un pozo ciego originando problemas para la salud del personal residente. Es por ello que el presente estudio consiste en la aplicación de un humedal artificial sub-superficial para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3^{ra} brigada de fuerzas especiales, batallón de servicios N°300, distrito de Rioja, provincia de Rioja, departamento de San Martín.

Se presenta como un tipo de proceso de tratamiento no convencional que en medida de costo, rendimiento, operación y mantenimiento son económicamente factibles para su utilización en la Amazonía, que se ve estancada por la falta de antecedentes en la misma.

Con esta investigación se pretende sustentar nuevas formas de tratar las aguas residuales estancadas en una zona o mejor dicho que no tengan un cuerpo receptor cerca de su emisión y de esta manera mejorar la calidad de vida de las personas.

Tiene como finalidad, en el ámbito social, beneficiar a las personas residentes de la 3ra brigada de fuerzas especiales, batallón de servicios N°300 del distrito de Rioja; elevando su calidad de vida.

Contribuimos en lo socio-ambiental y tecnológico presentando como idea innovadora este tipo de tratamiento de aguas residuales domésticas, en procura del desarrollo sostenible tanto de la ciudad como de la Amazonía, proponiendo que el desarrollo de las ciudades caminen paralelamente y así tener un desarrollo sostenible. Además, con esta investigación se quiere disminuir o solucionar problemas relacionados con los servicios de salud pública, dentro de la línea de investigación: saneamiento básico ambiental, a través de la utilización de un método no convencional para el tratamiento de aguas residuales, los cuales son los humedales artificiales sub-superficiales.

Además, la presente investigación, tiene una gran importancia en el ámbito institucional, relacionada en métodos no convencionales para el tratamiento de aguas residuales domésticas, dentro de la carrera profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, Moyobamba. Esta etapa impulsará a instituciones públicas o privadas a la ejecución de proyectos en el tema de disposición final de aguas residuales domésticas.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

A. Internacionales

Delgadillo, Camacho, Pérez & Andrade (2010), en su proyecto nos da a conocer que el establecimiento de bacterias en el sistema, tanto en el sustrato como en las raíces de las plantas, ayuda a la remoción de la carga orgánica y de los nutrientes del agua residual que está bajo tratamiento. Los microorganismos son la parte principal del funcionamiento de los humedales artificiales, ya que de estos depende la eficiencia en la remoción de los contaminantes. Los compuestos orgánicos, nitrogenados y fosforados son transformados a formas más simples y, por lo tanto, más fáciles de eliminar del sistema. Es indudable que los humedales artificiales son ecosistemas que pueden ser utilizados para el tratamiento de aguas residuales de una manera segura, confiable, estética y económica.

Arias y Brix (2003). En la investigación titulada: Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales; en la cual llego a una conclusión final donde determino que los humedales artificiales son una alternativa para la reducción de la contaminación generada por las aguas residuales y que si es posible tener buenos resultados en la depuración de aguas residuales domésticas, siempre y cuando el diseño y la operación del manual se ajuste a las características del agua residual y las condiciones climáticas del sitio; concluyendo que los humedales de flujo subsuperficial logran mejores resultados en la remoción de contaminantes, operando dentro de un sistema, como tratamiento secundario o terciario.

Díaz (2014), en la investigación sobre el tratamiento de agua residual a través de humedales, en donde analizando las condiciones de carga hidráulica, tiempo de retención, cargas de DBO y DQO, e igualmente las remociones promedio como resultado de la actividad físico-química de la vegetación, el medio poroso y la actividad biológica. Presentando los humedales como una opción viable para el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, reduciendo los efectos adversos de los vertimientos sobre los medios receptores.

B. Nacionales

Islena (2010), indica en su monografía sobre humedales artificiales de flujo sub superficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Que el desarrollo del humedal artificial con plantas herbáceas, comprendió la selección de plantas acuáticas, pre-experimentación, diseño, construcción, puesta en marcha y funcionamiento del mismo, alcanzando finalmente una eficiencia en remoción del 63% en DBO con posibilidades de presentarse valores superiores, siempre y cuando se sigan las indicaciones de manejo del humedal propuestas. Con esto se mitigará la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de Carapongo – Lurigancho (Lima).

García y Leal (2006). En su tesis los resultados obtenidos de este proyecto en la Región Amazonas determinan que el desarrollo y propagación del junco en el humedal artificial fue lenta después de tres meses de sembrado, con un incompleto desarrollo radicular en el suelo. La remoción del fosforo en el humedal se debió principalmente por una buena capacidad de absorción del medio filtrante. Es recomendable realizar monitoreo periódicos de los parámetros de los contaminantes para analizar la efectividad del tratamiento del humedal en Amayacu-Amazonas.

Guadalupe y Llagas (2006). Revista del instituto de investigación FIGMMG vol.9, N°18, UNMSM El artículo presenta los resultados obtenidos en la investigación realizada por el instituto de investigación de la facultad de ingeniería geológica, minera metalúrgica y geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (IIGEO-UNMSM) en el distrito de Lacabamba, Región de Ancash, Perú “Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región de Ancash, Perú, usando tecnología de humedales artificiales” Este proyecto tuvo como objetivo implementar y evaluar el sistema integral de manejo de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, mediante el uso del sistema de humedales artificiales para tratar las aguas y su reutilización en un bio huerto comunal, como una tecnología innovadora para reducir, la contaminación de las fuentes superficiales de agua; proteger la salud de los habitantes y evitar el deterioro del medio ambiente.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Agua residual

Metcalf-Eddy (1999), denomina aguas residuales a la combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de actividades humanas, provenientes de casas, edificios, fábricas e instituciones, estas llevan en su composición un gran volumen de agua (99.9%) y que generalmente son vertidos a cursos de aguas.

Clasificación de aguas residuales

Espigares (1985), clasifica las aguas residuales en:

- Agua residual doméstica, son las aguas residuales producidas por el consumo de agua potable: lavado de platos, duchas, lavatorios, servicios sanitarios y similares. Su calidad es muy uniforme y conocida, varía un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones.
- Agua residual industrial, son las aguas que han sido utilizadas en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso. Su calidad es sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio particular para cada industria.
- Agua residual urbana, las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas a una planta de tratamiento de agua residual.

Composición de las aguas residuales domésticas

Seoanez (1995), señala que los constituyentes encontrados en las aguas residuales domésticas pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. De los constituyentes de agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas

residuales domésticas deben ser diseñadas para su remoción. La composición de las aguas residuales es muy variada. Para el caso particular de aguas residuales domésticas se tienen estudios que permiten determinar los contaminantes presentes, así como los rangos de concentración de las mismas.

1.2.2. Tratamiento de aguas residuales domésticas

El objetivo principal del tratamiento de aguas residuales domésticas, es la estabilización de la materia orgánica. Por estabilización se entiende que la materia orgánica sea descompuesta por acción bacteriana hasta sustancias más simples que ya no se descompondrán, la estabilización puede realizarse por bacterias aeróbicas y anaeróbicas. La acción de estas últimas se aprovecha para la estabilización de la materia orgánica que se ha separado de las aguas por sedimentación y el proceso se denomina digestión de fangos y lodos.

La estabilización anaeróbica requiere de mucho más tiempo que en el proceso aeróbico, normalmente la digestión anaeróbica de fangos no se prolonga hasta la estabilización completa, sino hasta un punto en donde toda posterior descomposición es tan lenta que no se producen olores ni otros problemas. **(BRIX, 1994).**

La estabilización por las bacterias aeróbicas no solo es más rápida, sino que se realiza sin la presencia de olores desagradables. Si el suministro de oxígeno se interrumpe este proceso, entonces se producirá una regresión al proceso anaeróbico con posible aparición de olores. **(BRIX, 1994).**

Niveles de tratamiento de aguas residuales

Crites (2000), considera que los niveles de tratamiento de aguas residuales se clasifican en:

- **Pre tratamiento:** Tiene por finalidad la retención y eliminación de los sólidos de gran volumen por medio del cribado y la sedimentación, también grasas y aceites por medio de la flotación.
- **Tratamiento primario:** Es aquel en el que se logra una eliminación de una parte de sólidos suspendidos y flotantes por medios físicos y químicos si

fuesen necesarios. Los procesos que se dan son: sedimentación de sólidos suspendidos, floculación de sólidos coloidales con coagulantes químicos, seguida de sedimentación, precipitación de sólidos disueltos por medio de agentes químicos.

- **Tratamiento secundario:** Es aquel en el que se suministran medios para satisfacer la demanda de oxígeno y vienen en general precedidos de uno o más tratamientos primarios. Se utilizan procesos biológicos. Este nivel de tratamiento se clasifica principalmente en aerobios y anaerobios según el proceso de degradación de la materia orgánica, pudiendo existir algunos procesos que agrupen a ambos y que se desarrollen simultáneamente recibiendo el nombre de facultativos.
- **Tratamiento terciario:** Agrupa aquellos utilizados para reducir la concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas (nutrientes, metales pesados, detergentes u otras sustancias tóxicas) en el efluente proveniente de un tratamiento secundario.
- **Tratamiento avanzado:** Se puede incluir un proceso de desinfección para la eliminación de organismos patógenos realizando la cloración del efluente de la planta de tratamiento.

1.2.3. Humedales

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas. (**Ramsar, 2006**). Los humedales son complejos mosaicos compuestos por vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a las condiciones ambientales de estos sistemas. Estos organismos, junto con procesos físicos, químicos y biológicos son capaces de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia y productos contaminantes, por esta razón los humedales son llamados “los riñones del mundo”. El ser humano ha tratado de aprovechar la gran capacidad depuradora de los humedales diseñando instalaciones capaces de reproducir las características de estos sistemas y aplicándolas al tratamiento de las aguas residuales (**La hora, 1995**).

Tipos de humedales artificiales

Según Seoanez (1995), existen dos tipos de humedales artificiales, que se diferencian según sea el sistema de circulación de las aguas aplicadas, sin embargo, también influye el tipo de macrófita.

- Humedal superficial de flujo libre (FWS)
- Humedal de flujo subsuperficial (SSF)

Humedal superficial de flujo libre (FWS)

Se definen como humedales Artificiales de flujo libre superficial a aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. Los humedales artificiales FWS (Free Water Surface) consisten normalmente de una o más cuencas o canales de poca profundidad que pueden o no tener un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación al agua freática susceptible a contaminación y una capa sumergida de suelo para soportar las raíces de la vegetación macrófita emergente. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección. (EPA, 1998). La vegetación en este sistema está parcialmente sumergida en el agua, cuya profundidad varía entre 4 a 18 pulgadas (0.1 a 0.45 m). La vegetación común para los humedales de flujo libre incluye éneas, carrizos, juncias y juncos. Zambrano y Saltos (2009). El agua residual normalmente se alimenta en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. (Serrano, 2008).

En estos humedales se emplea una superficie promedio de 20 m² por persona (PE) las remociones obtenidas para los distintos contaminantes son elevadas (96% SST; 96% DBO; 87 % DQO; 40% NTK y 30% PT). (Rodríguez, 2008).

Humedal de Flujo Subsuperficial (SSF)

Los SSF (Subsurface Flow) están contruidos típicamente en forma de un lecho o canal que, al igual que el sistema FWS, puede o no tener una barrera que impida la percolación del agua hacia el subsuelo, además contiene un medio apropiado (grava, arena u otro material) que soporta el crecimiento de las

plantas; la vegetación emergente es la misma que en el sistema de humedal de flujo libre. El nivel del agua está por debajo de la superficie del soporte y fluye únicamente a través del medio que sirve para el crecimiento de la película microbiana, que es la responsable en gran parte del tratamiento que ocurre, las raíces penetran hasta el fondo del lecho. (Silva, 2005).

Tiene especial importancia en este tipo de sistemas que se lleve a cabo un tratamiento previo de las aguas residuales para remover los sólidos gruesos que pueda contener, con la finalidad de evitar problemas de obstrucción al medio de soporte granular y la consecuente afectación que esto pueda tener sobre el funcionamiento del sistema. Los humedales de flujo sub-superficial pueden ser de dos tipos en función de la forma de aplicación de agua al sistema:

- Humedales SSF de flujo horizontal: En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y de los rizomas y raíces de las plantas.
- Humedales SSF de flujo Vertical: Los sistemas verticales con flujo sub-superficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación en la cama son seguidas por periodos de insaturación estimulando el suministro de oxígeno. Este tipo de humedales las aguas residuales son aplicadas de arriba hacia abajo por medio de un sistema de tuberías y recogidas posteriormente por una red de drenaje situada en el fondo del humedal.

1.2.3.2. Componentes de los humedales artificiales

De manera general la composición de un humedal es agua, vegetación, medio filtrante y microorganismos, además de condiciones ambientales como luz solar y temperatura. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección. (EPA,1998).

- **Agua**

Las aguas residuales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal, en este caso. (Rolim, 2000).

Según su uso precedente, estas aguas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con residuos de industrias, de actividades agrícolas, así como las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación. (Rolim, 2000).

- **Sustrato**

El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas.

La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos. (Lara, 1999).

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar. (Arias, 2004).

- **Vegetación**

Las plantas presentan varias propiedades que las hacen ser un componente indispensable en los humedales construidos. La función de mayor importancia de las macrófitas en relación con el proceso de tratamiento de las aguas residuales es el efecto físico que producen. Las macrófitas estabilizan la superficie del lecho proporcionando buenas condiciones para la filtración y, en el caso de los sistemas con flujo vertical, previniendo las obstrucciones, además

de proporcionar área superficial para el crecimiento de los microorganismos adheridos (Rodríguez, 2003). El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el Carbono inorgánico en Carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir Oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este Oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el Oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación. (Arias, 2004). La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizara el proyecto, así como las siguientes recomendaciones. (García y Corzo, 2008)

- Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.
- Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
- La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento del biofilm.
- Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado.
- Debe tratarse de especies con una elevada productividad.
- Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Se debe utilizar especies propias del lugar.

- **Microorganismos**

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el Oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el Oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica,

la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección. (Rodríguez, 2008). Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: helmintos, bacterias, levaduras, hongos, virus y protozoarios. El indicador más utilizado son los coliformes fecales, aunque también se ha estudiado el comportamiento en humedales construidos de otros grupos microbianos, como los estreptococos fecales, Salmonella, Yersinia, Pseudomonas y Clostridium (Herskowitz, 1986). La biomasa microbiana consume gran parte del Carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera. (Lara, 1999).

Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales

El tratamiento de aguas residuales es esencialmente biológico, la depuración ocurre de manera natural y mediante la actividad metabólica de las bacterias y las plantas.

Mecanismos que intervienen en la remoción de contaminantes en humedales artificiales

En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual. Un amplio rango de procesos biológicos, físicos y químicos tienen lugar, por lo tanto, la influencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja (Delgadillo, 2010).

Los sistemas de humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, compuestos orgánicos y patógenos. La remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo (Lara, 1999).

Contaminantes removidos en el proceso de depuración

A través de los mecanismos descritos en el ítem anterior, es posible lograr la remoción de diversos contaminantes durante el proceso de tratamiento en un sistema de humedales artificiales:

a. Sólidos en suspensión

Los sólidos son removidos mediante el proceso de filtración ya que el sustrato que se emplea en humedales es arena y grava por lo general. Las raíces de las macrófitas y el sustrato reducen la velocidad del agua, favoreciendo la sedimentación de sólidos. Sin embargo, se recomienda un tratamiento previo para evitar la rápida colmatación del humedal.

b. Materia orgánica

La eliminación de la materia orgánica en los humedales es compleja ya que es el resultado de la interacción de numerosos procesos físico-químicos y biológicos que suceden en forma simultánea. Dicha degradación sucede mediante la biodegradación aeróbica y anaeróbica, mientras una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos. La materia particulada es retenida por filtración cerca a la entrada en humedales horizontales, mientras en que, en verticales, cerca de la superficie.

La biodegradación es realizada por microorganismos, los cuales están adheridos a las plantas, en particular a las raíces y a la superficie del sustrato, este conjunto de microorganismos es denominado biofilm. El tipo de biofilm establecido en el humedal depende del tipo de entorno que se da en el humedal ya que existe dos tipos de biodegradación microbiana, la aeróbica o la anaeróbica, los cuales tienen lugar en humedales artificiales, dependiendo de la presencia de oxígeno disuelto. (Kadleck et al., 2000).

1.2.5. Plantas acuáticas apropiadas para el tratamiento

En los humedales construidos se han utilizado una variedad de plantas herbáceas de la familia juncus o juncos. Las plantas que con más frecuencia se

utilizan son: las espadañas o eneas (*Typha* spp.), la caña o junquillo (*Phragmites* spp.) y los juncos (*Juncus* spp.) (*Scirpus* spp.) y (*Carex* spp).

Las plantas acuáticas llamadas también macrófitas, pueden calificarse en: flotantes, sumergidas y emergentes.

Plantas acuáticas flotantes

Las raíces de estas plantas cuelgan en el agua y no se fijan en los suelos, por lo que frecuentemente están expuestas a ser movidas por el viento. Dentro de este grupo se tiene especies como el Lirio acuático o Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*), la Lechuga de agua (*pistra stratiotes*), la Salvinia (*Salvinia* sp), la Azolla (*Azolla pinnata*) y la lenteja de agua (*Lemna* sp, *Wolfia arrhiga*). Estas especies no son dependientes de suelo o de la profundidad del agua.

Plantas acuáticas emergentes

Son plantas anfibias que viven en aguas poco profundas, arraigadas en el suelo, y cuyos tallos y hojas emergen fuera del agua pudiendo alcanzar alturas de dos y tres metros. Dentro de este grupo se encuentran los Cattails (*Thypha* spp), Espadañas (*Typha angustifolia*), Papyrus (*Cyperus papyrus*), Carrizo (*phragmites australis*), Commom reed (*Phragmites comunis*), los Juncos (*Scirpus* sp, *Juncus* sp), la Tototra (*Schoenoplectus totora*).

Juncos (*Juncus* sp.)

- Origen y dispersión: El junco (género *Juncus* L. 1753) es una planta de la familia de las juncáceas, muy común en la cuenca mediterránea, en América y África, con más de 225 especies.
- Descripción: Es una planta cespitosa perenne de color verde oscuro que forma matas de 1,5-2 m de altura. Las láminas y los culmos son cilíndricos y pungentes, característica que le da nombre a la especie. La inflorescencia es compuesta de flores pardas o rosáceas, diminutas. El fruto es una cápsula trigonal a oval, de color rosado. El periodo de floración va de abril a julio.

1.2.6. Marco legal

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, municipales.

Artículo 1.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de tratamiento de agua residuales domésticas o municipales (PTAR)
Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2.- Definiciones Para la aplicación del presente decreto supremo se utilizarán los siguientes términos:

- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR): Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- Límite Máximo Permissible (LMP). - Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- Protocolo de Monitoreo. - Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4.-Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5.-Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6.- Fiscalización y sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

1.3. Definición de términos básicos

Abiótico

Proceso no biológico o mecanismo de tratamiento en un humedal artificial. (Lomelí y Tamayo, 2005)

Anaeróbico.

Proceso en sistemas de tratamiento de aguas residuales que tiene lugar en ausencia de oxígeno disuelto y recurre al oxígeno molecular disponible en la descomposición de compuestos. (Fernández et.al 2008)

Contaminación del agua

Alteración en sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas del agua, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor. (Navarro y Aguilar, 2007)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): medida del nivel de los desechos orgánicos del agua que requieren de oxígeno para su descomposición, por la acción bacteriana. Nos indica la materia orgánica presente en el agua, porque cuanto más hay, más activas estarán las bacterias aerobias, y más oxígeno se consumirá. Consumo de oxígeno en un determinado volumen de agua en un plazo fijo de tiempo de tiempo (5 días), a una temperatura constante (20°C) y en condiciones de oscuridad. Por tanto, si la DBO es alta indica contaminación y mala calidad de esta agua y al revés. El agua potable tiene una DBO de 0.75 a 1.5 ppm. (Vélez y Paredes 2005)

Fitorremediación

Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petro-derivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas. (Nriagu y Pacyna, 1980)

Humedal Artificial (HA)

Sistema de tratamiento de aguas residuales que se basa en procesos físicos, químicos y biológicos que se encuentran típicamente en los humedales naturales para tratar un flujo relativamente constante de aguas residuales tratadas. (Nriagu y Pacyna, 1980)

Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño. (Delgadillo et.al 2010).

Junco

Nombre común de un número de plantas del género *Scirpus* encontrado en humedales. Varias especies de juncos de uso común en humedales artificiales prosperan en la amplia gama de condiciones ambientales en los humedales artificiales, incluidos los distintos niveles de profundidad del agua y de calidad. Las grandes, las especies delgadas y cilíndricas de junco incluyen *S. validus*, *S. californicus*, y *S. acutus*, todo lo cual forma rodales muy densos con un gran número de tallos cortados de ida y que mantienen una postura vertical para uno o más años. Otras especies de *Scirpus* incluyen las variedades de tres cuadrados, como *S. americanus (olynei)*, *S. fluviatilis*, y *S. robustus*, que ofrecen la tolerancia a la salinidad, una variedad de tonos de color y atractivo para diversas especies animales. (Nriagu y Pacyna, 1980)

CAPITULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales de investigación

Instalación de un tanque séptico

Instalación de un humedal artificial sub-superficial.

pH-metro electrónico

Multiparámetro.

Equipo HI98193 (medidor de DBO₅ y OD)

Equipo DR900 colorímetro (medidor de nitrato y fósforo)

Equipo HI98301 (medidor de sólidos totales disueltos)

2.2 Métodos y técnicas.

- Recolección de información con datos bibliográficos:

Se recurrió a diversas investigaciones realizadas por diversas instituciones a escala local, regional, nacional e internacional para el análisis metodológico y científico del presente estudio.

Dentro de las técnicas utilizadas tenemos: fuentes internas, generadas por instituciones estatales y privadas; publicaciones de gobierno; libros, revistas, tesis, información del internet y datos de las organizaciones mundiales vinculadas al tema.

H₁= Los humedales artificiales son eficientes en el tratamiento de las aguas servidas de la base contrterrorista N°300 de Rioja.

Población: Está comprendida por el caudal promedio de entrada al humedal artificial de la 3ra brigada de fuerzas especiales, batallón de servicios n°300:

$$Q=2\text{m}^3/\text{dia}$$

Muestra: Se realizaron en total 8 muestras de agua residual, cada muestra es de 500 ml, haciendo un total de 4 litros.

- Selección de sitio:

Para la instalación experimental del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, se seleccionó la 3ra brigada de fuerzas especiales batallón de servicios número 300, localizada en el distrito de Rioja, provincia de Rioja, departamento de San Martín.

La 3ra brigada de fuerzas especiales batallón de servicios N° 300, cuenta con un padrón de 20 soldados, en donde su agua residual no se encuentra destinada a un conducto de emisiones o alcantarillado, además de ello, cabe señalar que no cuenta con un flujo de destino final es por ello la necesidad de proyecto de tesis en este lugar.

- Evaluación del humedal artificial:

La evaluación del humedal artificial aplicados en la depuración de aguas residuales, se basó en la caracterización fisicoquímica y microbiológica.

- Toma de muestras.

Para la toma de muestra se seleccionó 2 puntos de muestreo, el primero es en el tanque de inspección a la salida del tanque séptico y o entrada del humedal artificial sub-superficial, el segundo a la salida del humedal artificial sub-superficial.

- Recolección y análisis de muestras

1. Se tomaron muestras simples y la cantidad de muestras colectadas fue de 500 ml por punto de muestreo.

2. El primer análisis de muestra fue realizada por la empresa privada Anaquímicos dedicada a la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual se encargó del análisis del parámetro: DBO_5

En los posteriores análisis se realizaron en el laboratorio de la Universidad de San Martín - Facultad de Ecología, para este parámetro se utilizó el medidor de DBO_5 y OD (equipo de análisis HI98193) se procedió de la siguiente manera:

- a. Se midió un envase de 250 ml de agua residual y se colocó en un frasco winkler para luego previa calibración de la sonda del equipo sumergirle en el frasco y de esta manera saber la DBO actual y programar al equipo poniendo nombre de muestra.
 - b. Poner el mismo frasco winkler en la incubadora, adicionándole el nutriente (HACH), el agua residual tendrá que estar 5 días en la incubadora.
 - c. Luego buscar la programación en el equipo de medición una vez encontrada colocar la sonda en la muestra.
 - d. Una vez realizada esta acción el equipo solicitara comparar ambos datos seleccionamos comparar y el equipo nos arrojará tres datos saturación de oxígeno, oxígeno disuelto y DBO₅.
3. Se examinaron 9 parámetros en el laboratorio de la Facultad de Ecología, los cuales eran; Temperatura, pH, Turbiedad, conductividad, Sólidos suspendidos totales, cloruro de sodio, resistividad, porcentaje de oxígeno disuelto con el equipo llamado multiparámetro.
- Métodos de análisis
La metodología empleada en los análisis de agua para cada parámetro establecido en la investigación, se especifica a continuación y se las separa según su fuente de análisis:
 - Método por termómetro de mercurio
Es el método utilizado para la medición en grados Celsius de la temperatura, con el instrumento, con tan solo la introducción del termómetro en una muestra de agua de 20 mL arrojando directamente los resultados.
 - Método Nefelométrico
Con la utilización del equipo llamado turbidímetro, se realiza la medición en unidades nefelométricas de turbidez de la muestra, siguiendo los pasos: se realiza el llenado de uno de los frascos de 10 mL del turbidímetro se procede a prender introducir el frasco y colocar enter, arrojando los resultados.

- Inserción tecnológica

La inspección tecnológica se realiza mediante el equipo multiparametro y un medidor de oxígeno disuelto que actúan de la misma forma mediante sodas introducidas en las muestras de agua, las cuales seleccionando los distintos parámetros se pueden observar directamente los resultados.

- Método estadístico

Los resultados obtenidos de la investigación serán procesados en cuadros y gráficos, y la interpretación de los datos se hará de forma descriptiva. Para el análisis de la eficiencia del humedal artificial se utilizará la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Eficiencia en remoción} = \frac{\text{concentración entrada} - \text{concentración salida} \times 100}{\text{Concentración entrada}}$$

Las concentraciones de contaminantes del efluente del humedal artificial durante los cuatro meses de experimentación serán comparadas con los valores de los “Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales”.

Se hará una evaluación comparando con los límites máximos permisibles de la Legislación Peruana para disposición final de aguas residuales.

Una vez aplicado los instrumentos de recolección de la información, se realizará el su análisis correspondiente, utilizando la estadística descriptiva.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultado 1:

Diseño y construcción del humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal.

- Diseño del humedal artificial:

Cálculo del caudal

El primer paso para calcular el dimensionamiento hidráulico del humedal artificial, fue medir el caudal de salida del tanque séptico, para la medición del caudal se aplicó el dato de consumo mes de la base contrterrorista para luego multiplicarlo con el 80 % que sale como agua residual según norma peruana el cual nos arrojó un total por día de 2.1 m³/día.

Cálculo del dimensionamiento hidráulico del humedal artificial

Para el dimensionamiento hidráulico se tomó como ejemplo las fórmulas aplicadas en la Guía de depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales de los autores: Delgadillo, Oscar, y otros. 2010. Para el diseño de este tipo de humedales los pasos a seguirse son:

- Cálculo del área necesaria.
- Profundidad del humedal. (0.80)
- Pendiente. (2%)
- Sustrato. (Piedra chancada)
- Relación largo – ancho. (4-1)

Ecuación 01 determinación de área superficial

Cálculo del área superficial

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de la DBO₅.

$$AS = (Q + LN(CO/C)) / (KT * h * I)$$

Donde:

Q = caudal de diseño del humedal ($\text{m}^3/\text{día}$)

C = concentración efluente (mg/L)

C_o = concentración efluente (mg/L)

K_T = constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d^{-1})

H = profundidad de humedal (m)

n = porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

La constante de reacción de primer orden se calcula mediante la ecuación 2:

Ecuación 02: Constante de reacción de primer orden

$$K_T = 1,104 * 1,06^{T_2 - 20}$$

Donde:

T_2 =temperatura de agua ($^{\circ}\text{C}$)

La profundidad del humedal generalmente varia de 0.3 a 1 metro (valor usual 0.6m), con una pendiente de 0.1 a 1%, siendo el valor usual 0.5%.

Siguiendo la formula se puede obtener el siguiente dato:

$$K_t = 1.104 * 1.06 (25-20)$$

$$K_t = 1.47$$

$$\text{Área superficial} = (2.1 \times \ln(455/3.6)) / (1.47 * 0.8 * 0.38)$$

$$\text{Área superficial} = 22.74 \text{ m}^2$$

Ecuación 03: Relación Largo – Ancho

Principio de Darcy para el flujo en medio porosos

$$A_c = Q / (K_s * S)$$

Donde:

A_c =área vertical en m^2

Q =caudal medio en m^3/s

K_s =conductividad hidráulica (m/s)

S =pendiente (m/m)

$$\text{Área vertical} = 2.1 / (1500 * 2 / 1000)$$

$$\text{Área vertical} = 0.7 \text{ m}^2$$

Ecuación 04: cálculo del ancho del humedal

$$W = A_c / h$$

$$W = 0.7 / 0.4$$

$$W = 1.75 \text{ m}$$

$$L = 22.74 / 1.75 = 12.99 \text{ m}$$

Pero según la bibliografía utilizada, menciona que es preferible utilizar una relación largo ancho en este caso utilizaremos la de 4-1 teniendo por resultado un largo de 7 m y un ancho de 1.75 m. Se puede decir, que, con el dimensionamiento del sistema de humedal, en lo teórico se depura hasta en 100% el agua residual.

➤ **Construcción del humedal artificial:**

Después de haber realizado el cálculo hidráulico del humedal artificial, se construyó el sistema teniendo en cuenta las dimensiones y los procedimientos constructivos, a continuación, detallaré cada actividad realizada:

- Para poder realizar los trabajos de construcción del humedal artificial, se tuvo que hacer limpieza del terreno tanto de la zona de investigación como del área cercana, para tener una mejor accesibilidad al área de trabajo.
- Se procedió a excavar la zanja, con dimensiones de 1.75 metros de ancho, 7 metros de largo y 0.7 m de altura. La zanja excavada tiene una pendiente de 0.5 %, lo cual nos sirve para la circulación y conductividad del agua residual.
- Para la construcción del humedal el primer paso es hacer el solado, el cual cubre todo el espacio de la zanja excavada, el espesor del solado es de 10 cm, siempre considerando la pendiente. Para tener un mejor resultado se tuvo que impermeabilizar el medio filtrante con el suelo con una fibra plástica, con eso evitamos la filtración del agua residual hacía en subsuelo.
- Una vez que el solado ha secado, se procedió a colocar la manta o fibra plástica en todo el perímetro del humedal.
- Después de que la fibra fue colocada se procedió a poner el material filtrante (grava de 3/4 pulgadas)
- Se colocó dos tanques de inspección, uno a la salida del tanque séptico y otro a la salida del humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal, la finalidad de estos tanques de inspección es la de medir los caudales de ingreso y salida, también se podrá tomar con facilidad las muestras para analizarlas en laboratorio.

- Se realizaron todas las instalaciones de las tuberías para dar funcionamiento al humedal, de la red principal de desagüe saliente de los sanitarios de la base con una tubería PVC SAP de 4", de la caja de registro sale hasta el tanque séptico luego sale con una tubería de PVC SAP de 4" hacia la primer tanque de inspección, para luego salir con una tubería de 2", de ahí se conecta al humedal artificial sub-superficial con la tubería SAP de 2" se distribuye en todo lo ancho del humedal con una TEE para desagüe SAP de 2. El agua residual tratada sale del humedal artificial con una tubería PVC SAP DE 2", llega al tanque de inspección y de ahí sale hacia el cuerpo receptor con una tubería PVC SAP DE 2" que en este caso es una poza o estanque de agua natural.

➤ Selección del filtro de grava para el humedal artificial:

Para tener una mayor eficiencia del sistema, se optó por trabajar con filtros en el fondo del humedal artificial, esto se hizo con el propósito de regular la conductividad hidráulica del agua y agregar un medio de soporte para el crecimiento de microorganismos que ayudan a la depuración del agua residual. El material filtrante fue seleccionado por su conductividad hidráulica que para nuestro caso es de $15,000 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, siendo la grava media de 3/4", las seleccionadas. Estos materiales fueron colocados por bloques en toda el área del humedal, el primer bloque fue puesto al comienzo del humedal con 1.00 m de largo y al final con la misma longitud de piedra de 2" de diámetro con una altura de 0.7m, el segundo bloque es de piedra chancada de 3/4" de diámetro con una altura de 0.7 m.

➤ Selección de las especies acuáticas:

Se recolectó la especie juncos conocidos comúnmente como cervatanes o juncos de agua, estas especies se encontraron en la poza de la 3ra brigada de fuerzas especiales, estas especies fueron extraídas de las orillas de la laguna, tratando de seleccionar los brotes más tiernos y en buenas condiciones.

Siembra

Inmediatamente de haber extraído los juncos de agua de su hábitat natural, fueron llevados al humedal artificial sub-superficial y colocados en forma ordenada en toda el área del humedal, dejando ciertos espacios para facilitar el crecimiento de los juncos, una vez colocados se espera que esta especie se adapte al medio para que cumplan su función de depuración de las aguas residuales.

3.2. Resultado 2:

Caracterización de las aguas residuales domésticas.

Tabla 1

Caracterización del efluente de la fosa séptica

Caracterización del efluente de la Fosa Séptica		
A.	Turbidez	28.51 UNT
B.	pH	8.36 pH
C.	Temperatura	25°C
D.	Conductividad	842.6 ms
E.	STS	476.5 ppm
F.	Cloruro de sodio	470.6 ppm
G.	Resistividad	1.049 kΩ
H.	Porcentaje de oxígeno disuelto.	70.10%
I.	Oxígeno disuelto	5.03 ppm
J.	DBO ₅	650 mg/l

Fuente: elaboración propia.

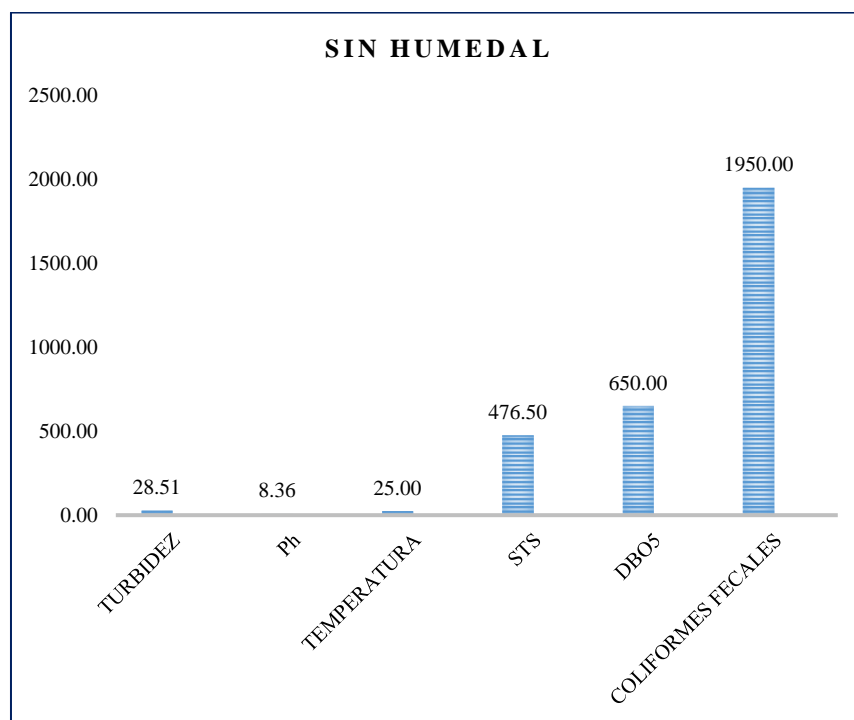


Figura 1: Resultado del muestreo de HAFSS. (Fuente: Tabla 1).

Interpretación:

Para poder realizar el diseño correctamente se tuvo que analizar el efluente que arrojaba en ese momento sistema de tratamiento de aguas residuales que poseía la base contrterrorista N° 300, tomando en cuenta 10 parámetros físicos y biológicos: temperatura, pH, turbiedad, conductibilidad, sólidos suspendidos totales, cloruro de sodio, resistividad, porcentaje de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, DBO₅.

Cómo podemos apreciar en la Tabla N° 1 de la primera caracterización, la depuración del sistema primario (tanque séptico), es insuficiente para que el efluente sea considerado como efluente aceptable para el ambiente, y al no tener un flujo de agua constante (río o quebrada), por ello se necesita de un tratamiento secundario o terciario.

Caracterización del tratamiento aplicando el humedal sub-superficial de flujo horizontal con plantas herbáceas (juncos de agua)

En esta etapa se analizó el humedal artificial en el primer mes de uso y en el segundo teniendo datos favorables a medida que se realizaba los muestreos y se los comparo.

Tabla 2

Resultado del muestreo del HAFSS

Resultado de la Caracterización			
A.	Turbidez	7.24	UNT
B.	pH	6.8	pH
C.	Temperatura	24.8	°C
D.	Conductividad	436.2	Ms
E.	STS	51.80	ppm
F.	Cloruro de sodio	230.1	ppm
G.	Resistividad	1	kΩ
H.	Porcentaje de Oxígeno disuelto.	102.2	%
I.	Oxígeno disuelto	6.94	ppm
J.	DBO ₅	12	mg/L
K.	Coliformes fecales	1432	UFC/100ml

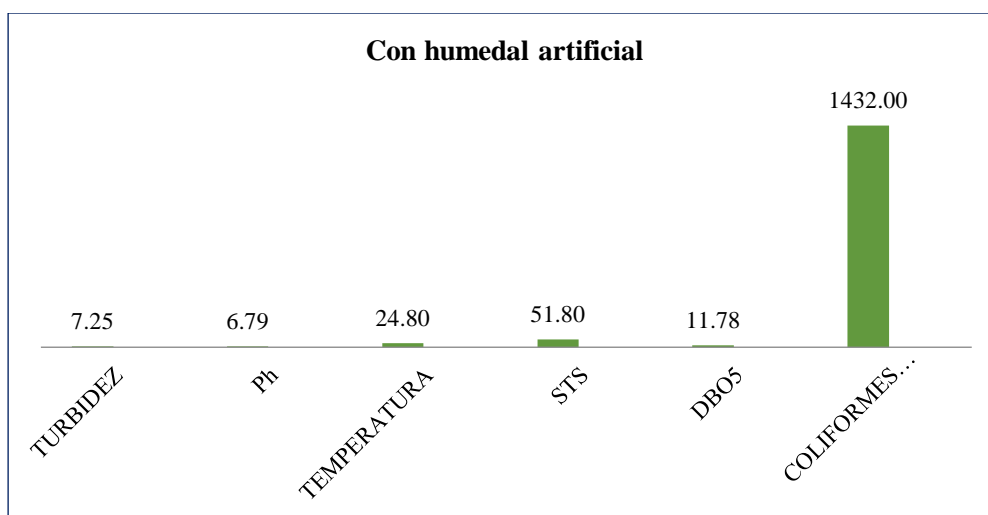


Figura 2: Resultado del muestreo del HAFSS. (Fuente: Tabla 2).

Interpretación:

Se puede observar en la Tabla 2, que existe la turbidez con un valor de 7.24 UNT, este valor se considera aceptable, si hablamos en términos porcentuales podemos decir que se ha removido un 75 %, el valor del pH está dentro de lo neutral con 6.8, la temperatura está conforme a la variación climática, los sólidos totales suspendidos, el cloruro de sodio y la resistividad han bajado en poca proporción, por lo que podemos ver el oxígeno disuelto ha aumentado mucho más y en consecuencia el DBO₅ ha sido determinante para su disminución hasta 12 mg/L.

Tabla 3

Disminución de los parámetros de evaluación

Parámetros		Disminución	
A.	Turbidez	21.26	UNT
B.	pH	1.57	pH
C.	Temperatura	0.2	°C
E.	STS	424.70	Ppm
F.	DBO ₅	638.22	mg/L
G.	coliformes fecales	518	UFC/100ml

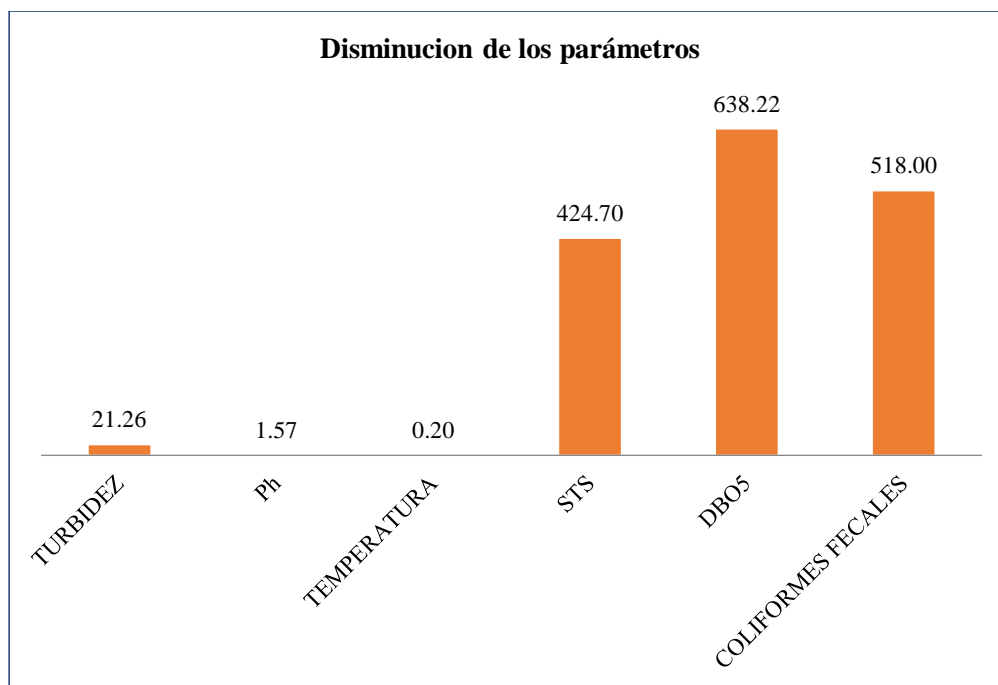


Figura 3: Disminución de los contaminantes sin planta y con planta HAFSS. (Fuente: Tabla 3).

Interpretación:

Como podemos apreciar el resultado de la disminución de la turbidez en 7.81 UNT, de pH en 0.2 ppm, en temperatura en 0.2 °C, conductibilidad 170.8 menos, sólidos totales suspendidos en 424.70 ppm, cloruro de sodio 109.90pm, resistividad 0.03 kΩ menos, porcentaje de oxígeno disuelto aumento en 12.20%, oxígeno disuelto aumento en 0.94 ppm, DBO₅ disminuyó en 638.22 mg/L, indicando esto que el humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal está cumpliendo con su objetivo.

3.3. Resultado 3:

Capacidad de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos aplicando los humedales artificiales

Para evaluar la remoción del sistema, se hizo una comparación con el porcentaje de remoción del agua residual sin planta y con la planta de tratamiento.

Tabla 4

Porcentaje de remoción de los contaminantes

Muestreo del Efluente de la Fosa Séptica				caracterización del Humedal Artificial		Porcentaje de depuración
A.	Turbidez	28.51	UNT	7.24	UNT	74.61%
B.	pH	8.36	pH	6.8	pH	18.66%
C.	Temperatura	25	°C	24.8	°C	0.80%
D.	Conductividad	842.6	ms	436.2	ms	48.23%
E.	STS	476.5	ppm	237.9	ppm	50.07%
F.	Cloruro de sodio	470.6	ppm	230.1	ppm	51.10%
G.	Resistividad	1.049	kΩ	1	kΩ	4.67%
H.	Porcentaje de oxígeno disuelto.	70.1	%	102.2	%	-45.79%
I.	Oxígeno disuelto	5.03	ppm	6.94	ppm	-37.97%
J.	DBO5	650	mg/l	12	mg/l	98.15%

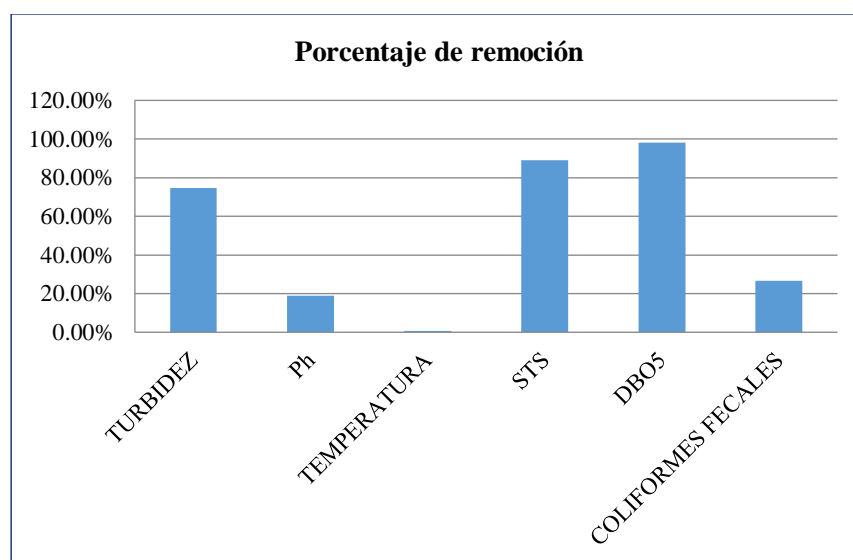


Figura 4: Porcentaje de remoción. (Fuente: Tabla 4).

Interpretación:

Se puede observar la comparación entre los datos recogidos según la Tabla 4 los datos recabados en el primer muestreo de la salida del tanque séptico y los datos del

efluente del humedal artificial se depura la carga microbiana en un 98.15%. Teniendo como resultado final una DBO_5 debajo de las normativas, además de ello pudiendo ser reutilizable para la piscicultura.

Se logró depurar hasta en un 74.16 % de turbidez respecto a la inicial, un 18.66 % ha bajado el pH, la temperatura también bajó un 0.8 %, la conductividad un 48.23 %, los sólidos totales suspendidos han sido depurados hasta en un 50.07 %, el cloruro de sodio un 51.1 % y la resistividad en un 4.67 %; contrario a esto, se ha logrado aumentar el oxígeno disuelto hasta en un 37.9 % relacionado inversamente con la disminución del DBO_5 .

3.3.1 Función de correlación de los resultados obtenidos

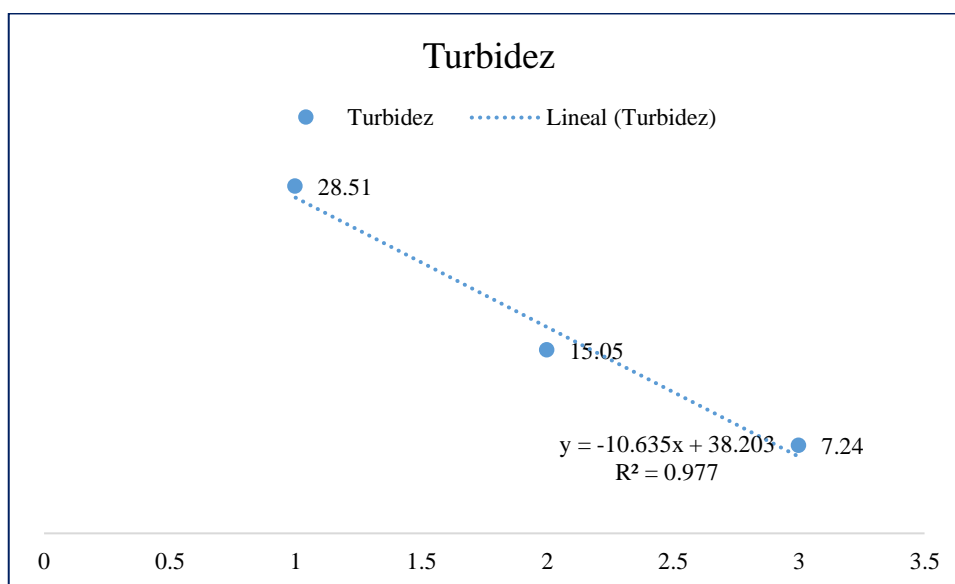


Figura 5: Función de correlación de la turbidez

Interpretación:

La turbidez es un parámetro que tiene una línea de tendencia en descenso progresivo, conforme se observa en la figura, así mismo se puede describir que existe una relación indirectamente proporcional conforme pasa el tiempo y hasta el segundo mes reduce cada vez más el valor del parámetro, relacionada con la eficiencia del humedal, cuya correlación es casi perfecta siendo 0.977, esto es otro indicador de lo que describe a la acción del HAFSS.

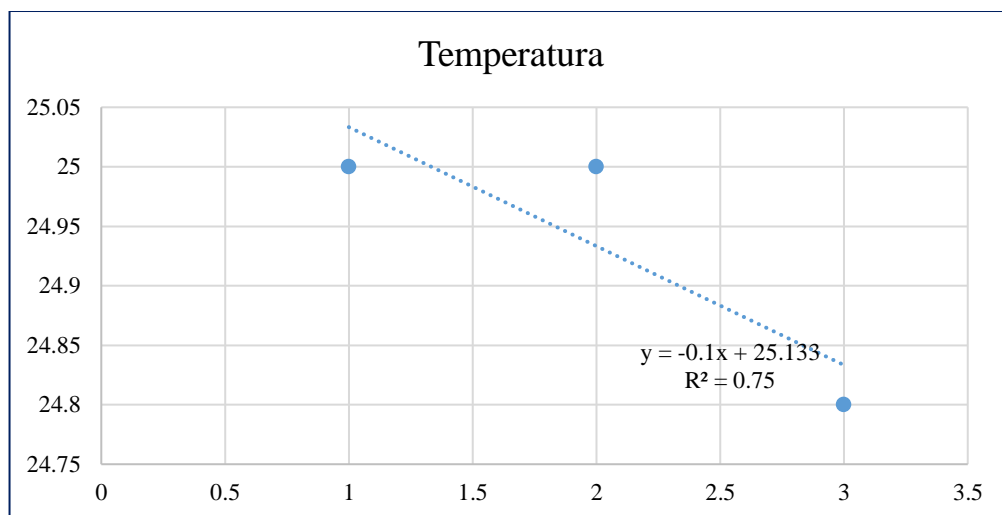


Figura 6: Función de correlación de la temperatura

Interpretación:

La temperatura es un parámetro, poco relacionado con el humedal y mucha más influencia por el clima externo del ambiente, esta tiene una línea de tendencia en descenso progresivo, conforme se observa en la figura, así mismo se puede describir que existe una relación indirectamente proporcional conforme pasa el tiempo, cuya correlación es de 0.75, esto es otro indicador de lo que describe a la acción del HAFSS con el tiempo y la eficiencia del humedal.

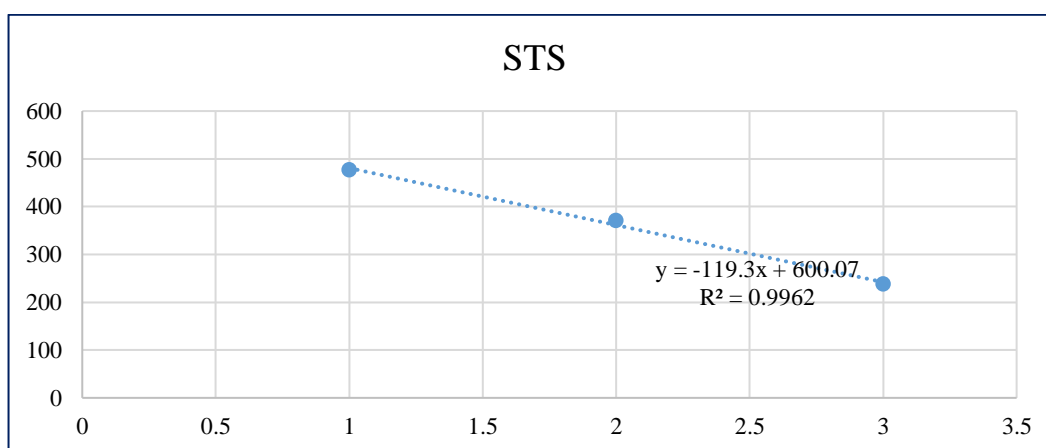


Figura 7: Función de correlación de STS

Interpretación:

Los STS es un parámetro que tiene una línea de tendencia en descenso progresivo, conforme se observa en la figura, así mismo se puede describir que existe una

relación entre el tiempo y la eficiencia del humedal al reducir cada vez más el valor del parámetro, relacionada con la eficiencia del humedal, cuya correlación es casi perfecta siendo 0.9962, este es otro indicador de lo que describe a la acción del HAFSS.

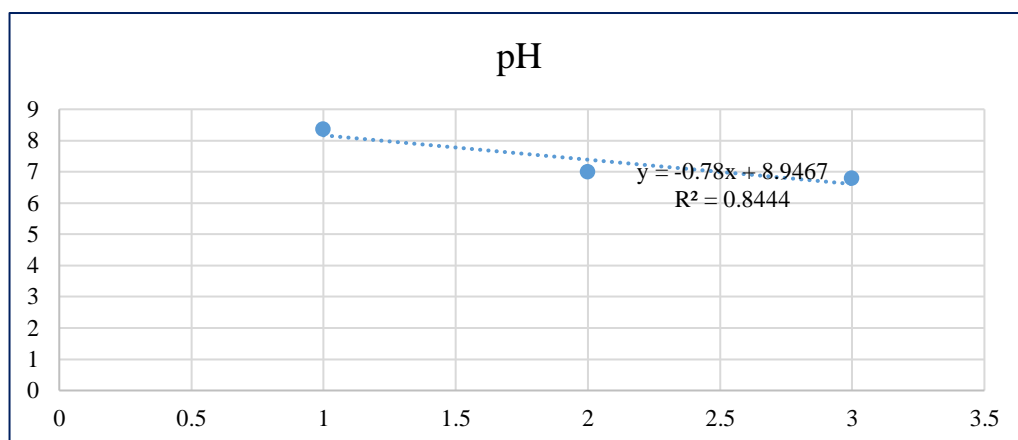


Figura 8: Función de correlación de pH

Interpretación:

El pH es un parámetro que tiene una línea de tendencia en descenso progresivo, conforme se observa en la figura, aunque la línea de tendencia es poco inclinada debido a al bajo descenso que existe entre el pH y la acción del humedal en el tiempo, cuya correlación es 0.844, este es otro indicador de lo que describe a la acción del HAFSS junto a la influencia de otros factores como los juncos y el suelo.

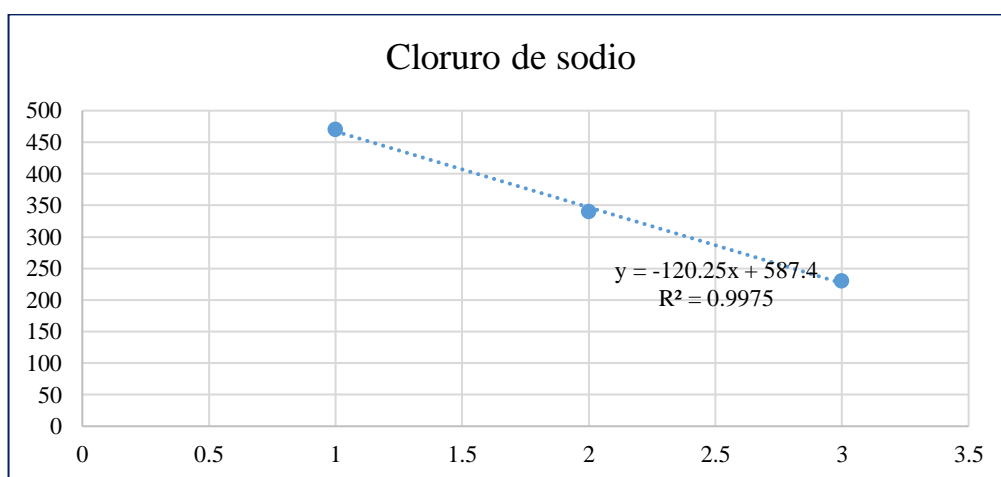


Figura 9: Función de correlación de cloruro de sodio

Interpretación:

El cloruro de sodio es un parámetro, relacionado con el termino de acides y basicidad del agua, en base a los compuestos presentes, tiene una línea de tendencia en descenso progresivo, conforme se observa en la figura, así mismo se puede describir que existe una relación indirectamente proporcional entre el tiempo de muestreo y el resultado del parámetro, relacionada con la eficiencia del humedal, cuya correlación es casi perfecta siendo 0.9975.

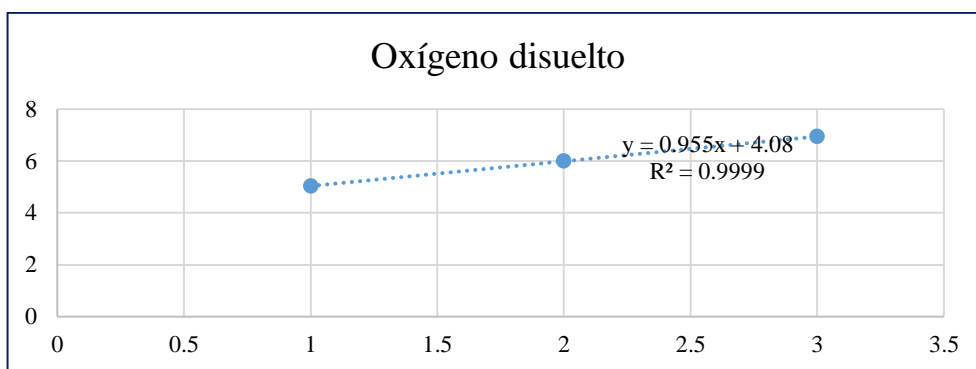
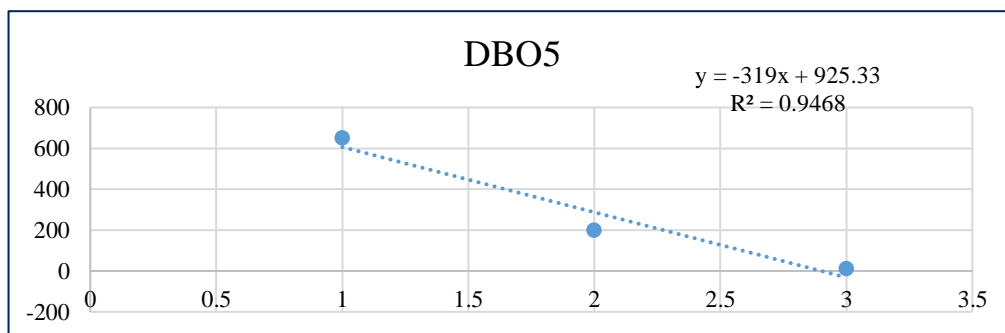


Figura 10: Función de correlación del oxígeno disuelto

Interpretación:

El oxígeno disuelto es un parámetro cuya descripción de su comportamiento se describe de manera diferente a todos los demás parámetros siguiendo una línea de tendencia ascendente progresiva, conforme se observa en la figura, de una manera directamente proporcional entre la relación del oxígeno con el tiempo de muestreo, cuya correlación para los términos estadísticos es casi perfecta con 0.9999.



Interpretación:

La relación existente entre el oxígeno disuelto y el DBO5 es en términos correlativos inversamente proporcionales mientras uno sube el otro describe una tendencia

descendente progresivo y lineal, al valor entre el tiempo y los resultados, cuya correlación para los términos estadísticos es casi perfecta con 0.9468 siendo un notorio termino de eficiencia para el humedal.

3.4. Resultado 4:

Comparación con los LMP para PTAR

Para analizar si un sistema de tratamiento está depurando los contaminantes presentes en el agua residual, los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica debe cumplir con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de fuentes domesticas según D.S. N°003-2010-MINAN.

En la siguiente tabla se presentarán los datos del efluente del humedal artificial durante los tres meses de muestreo y los compararemos con los LMP para analizar si cumplen con la norma establecida.

Tabla 5

Comparacion de resultados del efluente con los LMP

Parámetro	Unidad	EFLUENTE		
		1° Caracterización	2° Caracterización	LMP
Turbiedad	UNT	28.51	7.24	-
	Potencial			
pH	de	8.36	6.8	6.5 - 8.5
	Hidrogeno			
T°	°C	25	24.8	< 35
STS	ppm	476.5	237.9	150
DBO ₅	mg/L	650	12	100
Cloruro de sodio	mg/L	470.6	230.1	--
Resistividad	kΩ	1.049	1	--
Coliformes	UFC/100	1950	1432	10,000
Fecales	ml			

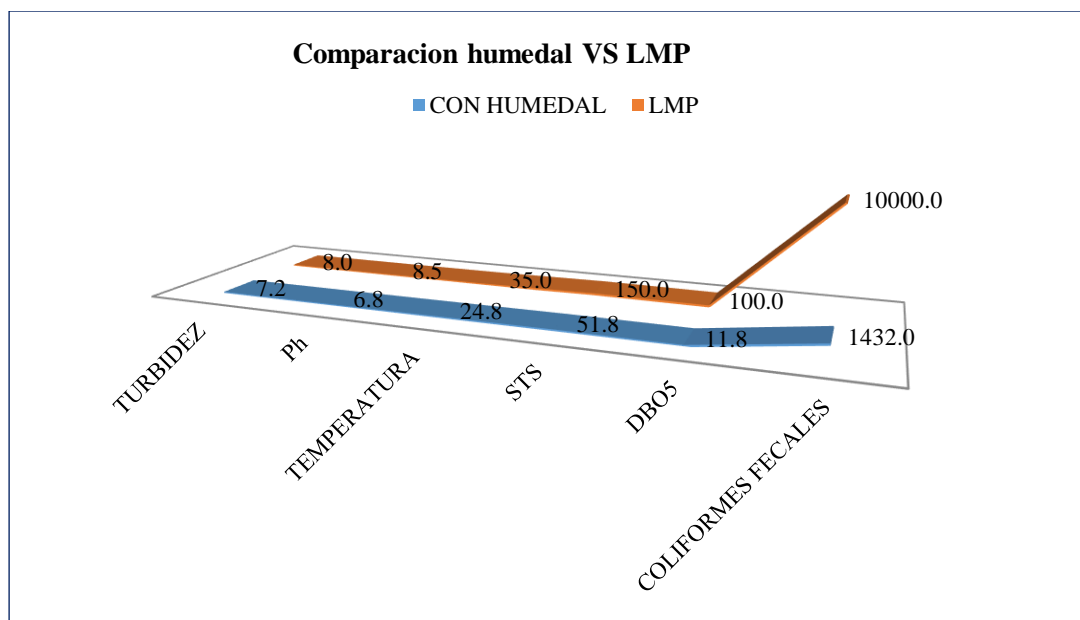


Figura 11: Comparación de resultados del efluente con los LMP. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

La evaluación de la turbiedad no está comprendida dentro de los LMP, pero si es un parámetro importante para determinar la calidad del agua, el pH está dentro del rango 6.5 – 8.5. La temperatura apropiada para el crecimiento óptimo de los juncos es de 20 – 30° C y durante la duración de la tesis se realizó el Caracterización la T° llega a los 24.8°. Para el caso de los SST los resultados nos muestran valores mayores a los 150 mg/L.

Para el DBO₅, sobrepasa los 100 mg/L, sin humedal artificial sub superficial el cual nos indica que la remoción de la materia orgánica tan solo con el tanque séptico no llega a cumplir con los LMP, luego en el Caracterización del agua residual con humedal artificial sub superficial si se presencia una depuración casi al 100% ya que el resultado es del 12 mg/L.

Con estos datos podemos afirmar que la hipótesis planteada en la presente investigación es válida, ya que, mediante el humedal artificial sub superficial utilizando la especie *juncos de agua* (juncus of water) si se puede recuperar las aguas residuales domésticas.

- Comparación de turbiedad.

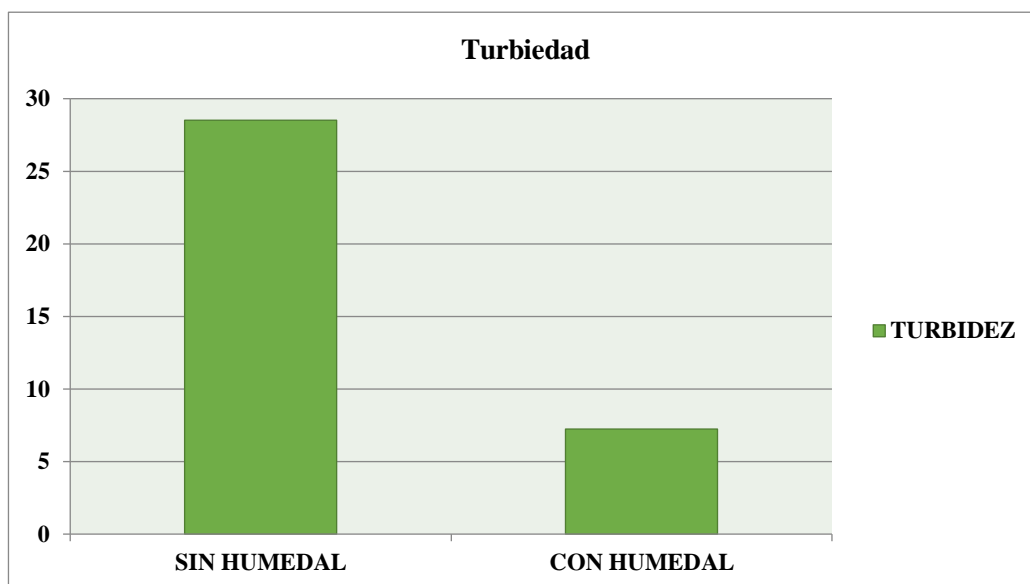


Figura 12: Comparación de turbiedad Fuente: Tabla 5

Interpretación:

Como se aprecia en la figura 12, la remoción de la turbiedad arranca con el 28.51 UNT, para un descenso de casi 7.24 UNT logrando solo un porcentaje del 74.60%, logrando así obtener un resultado de máxima eficiencia del sistema de remoción de turbiedad.

- Comparación de pH

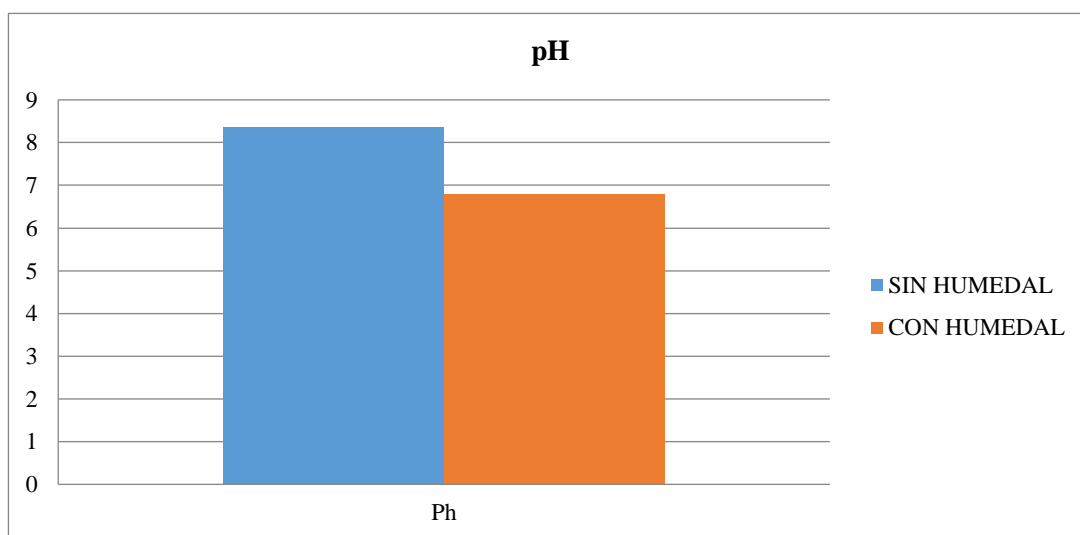


Figura 13: Comparación de Ph. (Fuente: Tabla 5)

Interpretación:

Según los resultados de los Caracterización realizados, durante los meses de muestreo, se puede observar que esta baja en poca proporción, pero quedando a un nivel neutral, la remoción del pH es progresiva durante los meses en que se realizó el Caracterización, en el primer mes alcanza el 8.36 ppm, lo cual es un resultado dentro de los límites de basicidad, para con la planta instalada disminuye a 6.8 ppm, este valor demuestra su cercanía a la parte neutral, así pues, alcanzando remover un 18% de pH.

- Comparación de temperatura

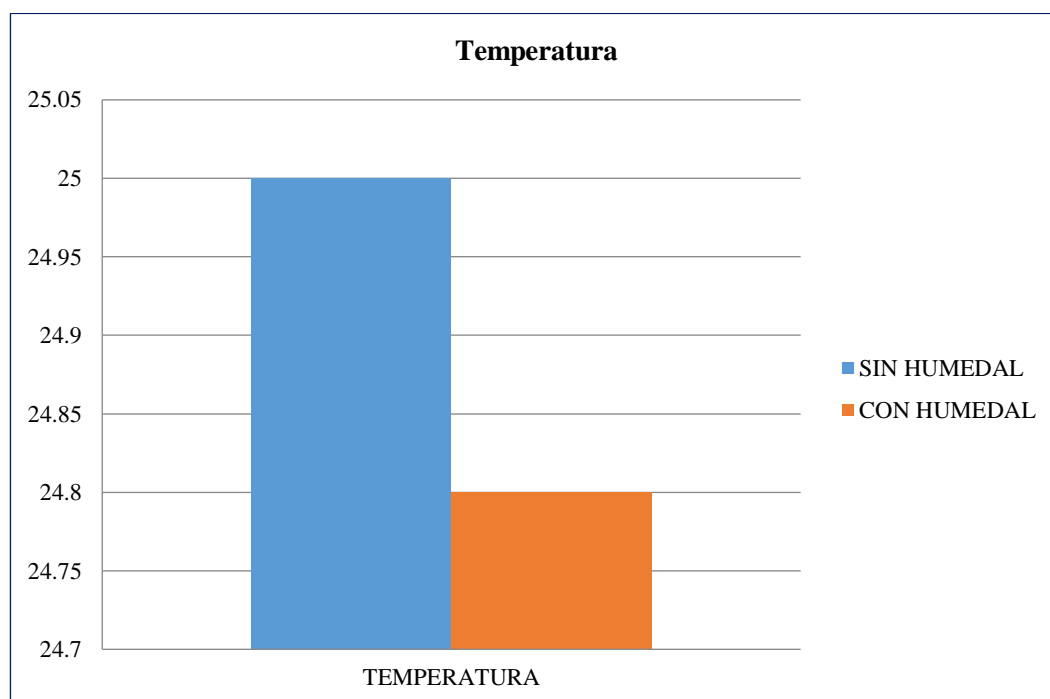


Figura 14: Comparación de temperatura. (Fuente: Tabla 5)

Interpretación:

Como se aprecia en la figura 14, la temperatura sin planta piloto cuenta con el 25 ° C, con planta piloto desciende a 24.8 ° C logrando sólo un porcentaje del 0.8%, logrando así obtener un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

- Comparación de conductividad

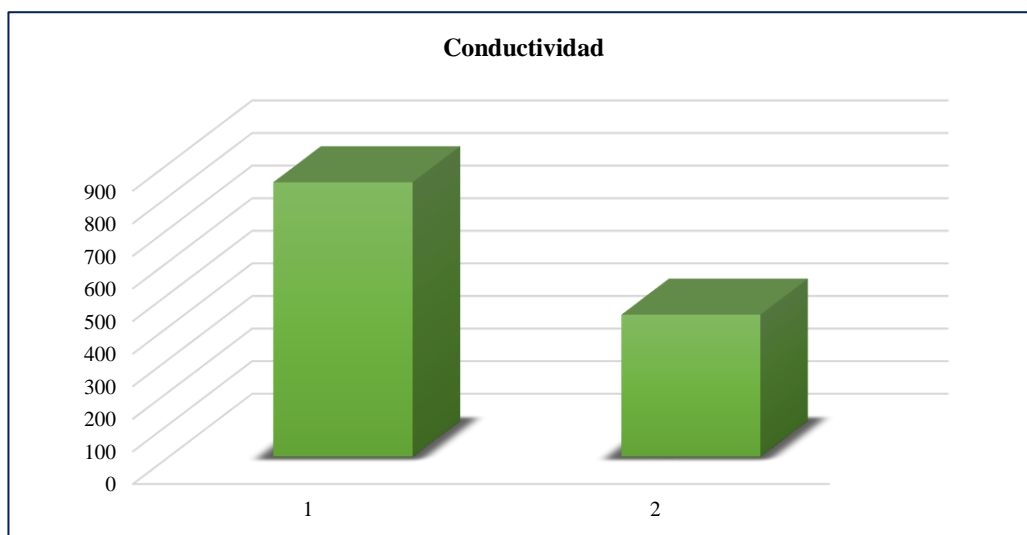


Figura 15: Comparación de conductividad. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

Como se aprecia en la figura 15, la conductividad sin planta de tratamiento arranca con el 842.6, y con planta de tratamiento hay un descenso a 436.2 logrando solo un porcentaje del 48 %, logrando así obtener un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

- Comparación de los Sólidos Totales Suspendidos (STS)

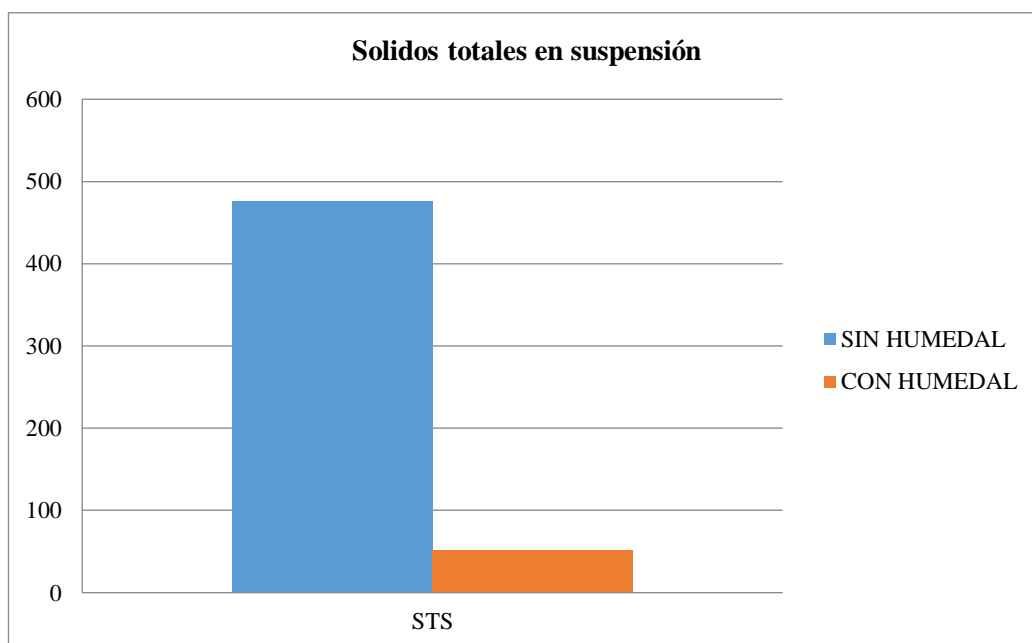


Figura 16: Comparación de sólidos totales suspendidos. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

La acción de los sólidos totales suspendidos, frente a esta metodología de remoción, es de forma buena pues tiende a bajar progresivamente con la planta ya instalada, es este caso hablamos del material particulado que no se sedimenta y es difícil de remover, en la figura 20, los ST

Se inicia con 476.5 ppm sin planta, y con planta se encuentra a 51.8 ppm logrando solo un porcentaje del 80.13%, logrando así obtener un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

- Comparación de cloruro de sodio

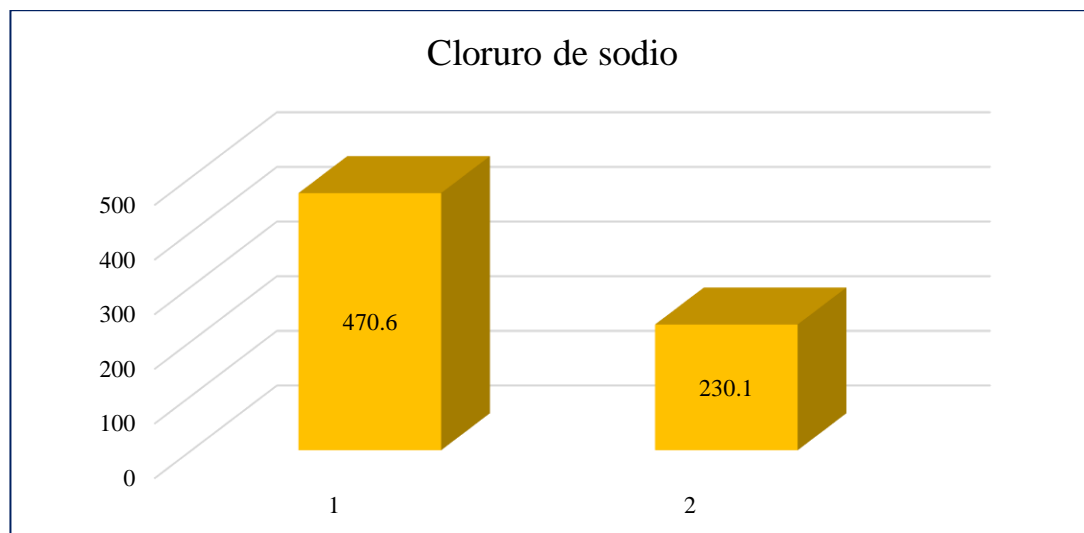


Figura 17: Comparación de cloruro de sodio. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

El cloruro de sodio es un compuesto presente en algunas aguas, esta es responsable de la salinidad, es por ello que hasta cuerpo punto es necesario controlar su valor en el agua, esta también funciona como buffer ante presencia de ácidos, precipitando, lo bueno del trabajo realizado es que este mismo ha podido disminuir en proporción sin desaparecer por completo, en la figura 21, el Cloruro de Sodio inicia con 470.6 ppm, con planta se encuentra en 230.1 ppm logrando solo un porcentaje del 51.1 %, logrando obtener un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

- Comparación de resistividad

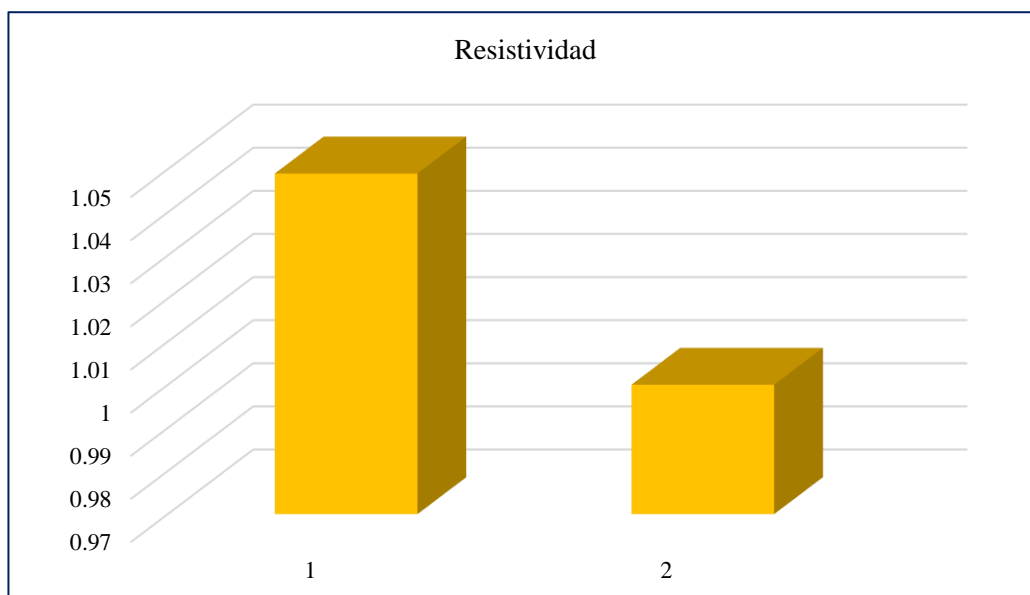


Figura 18: Comparación de resistividad. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

Se aprecia en la figura 22, la Resistividad sin planta esta con 1.049 kΩ, con planta se encuentra en 1.000 kΩ logrando solo un porcentaje del 4.67 %, logrando así obtener un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

- Comparación del porcentaje del oxígeno disuelto

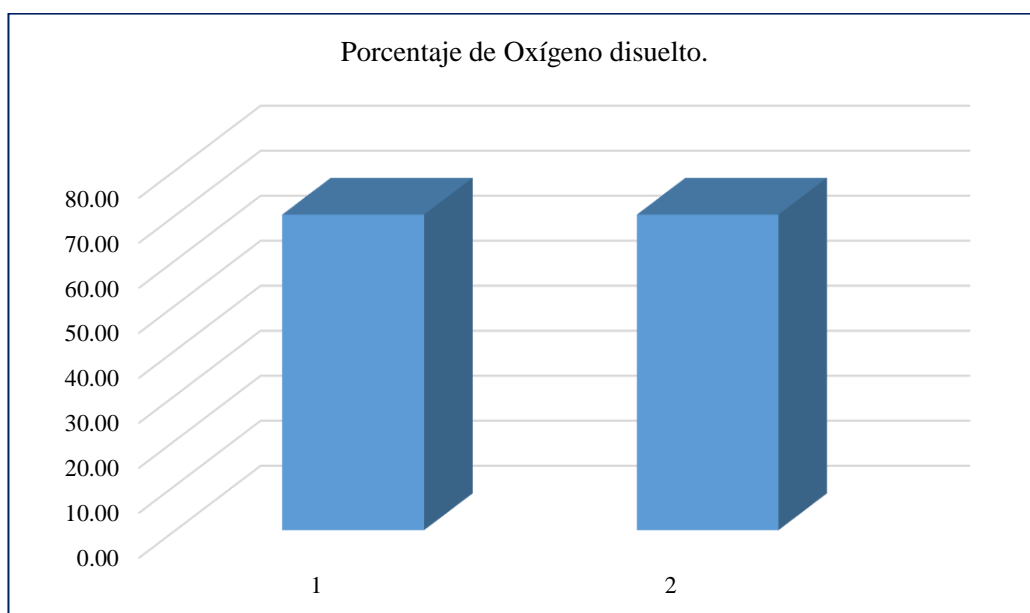


Figura 19: Comparación del porcentaje de oxígeno disuelto. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

El porcentaje de oxígeno disuelto, es un valor conforme a lo coordinado con el oxígeno disuelto, este es un parámetro determinante para el mejoramiento y restauración del agua, solo representada en términos porcentuales, sin planta tiene 70.1 %, con planta se encuentra en 102.2 %, logrando solo un porcentaje de eficiencia del 145 %, logrando así obtener un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

• Comparación del oxígeno disuelto

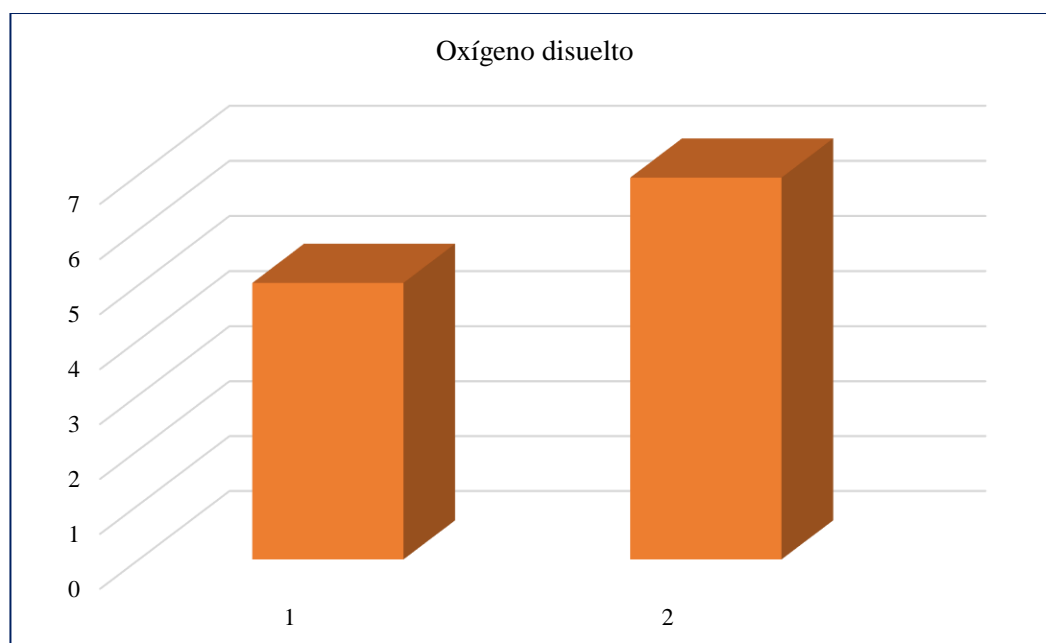


Figura 20: Comparación del oxígeno disuelto. (Fuente: tabla 5).

Interpretación:

Se podría decir que el agua sin oxígeno disuelto está deteriorada como para actuar, el tratamiento utilizado ha mejorado la circulación de oxígeno en el agua, logrando que esta suba de un mes a otro, situación que indica el mejoramiento y la gran eficiencia de este tratamiento, se aprecia en la figura 24, el oxígeno disuelto inicia con 5.03 ppm, y con planta se encuentra en 6.94 ppm logrando solo un porcentaje del -37 %, logrando así obtener un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

• Comparación de la DBO₅

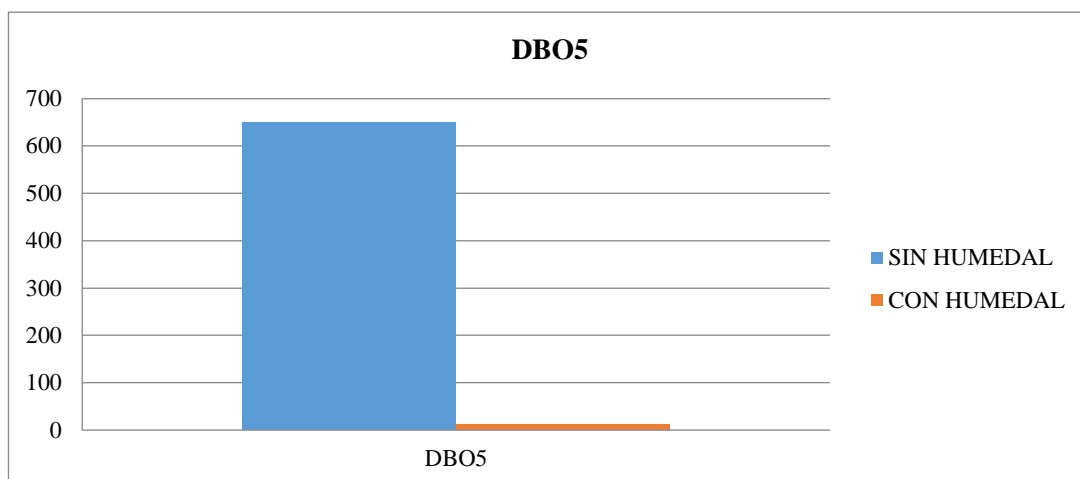


Figura 21: Comparación del DBO₅. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

Antes de realizarse el tratamiento se observó una cantidad del DBO₅ que sobrepasa toda las expectativas de recuperación del agua, este parámetro esta indirectamente relacionado con la cantidad de oxígeno disuelto, mientras esta ha aumentado el DBO₅ ha disminuido en gran proporción respecto a la inicial, este ha tenido una acción fundamental en la eficiencia del tratamiento siento mucho más alto su porcentaje de remoción, se aprecia la figura 25, la DBO₅ inicia con 650 mg/L, con planta encuentra en 12 mg/L en promedio obteniendo un porcentaje alto del 98 %, logrando así obtener un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

• Comparación de coliformes fecales

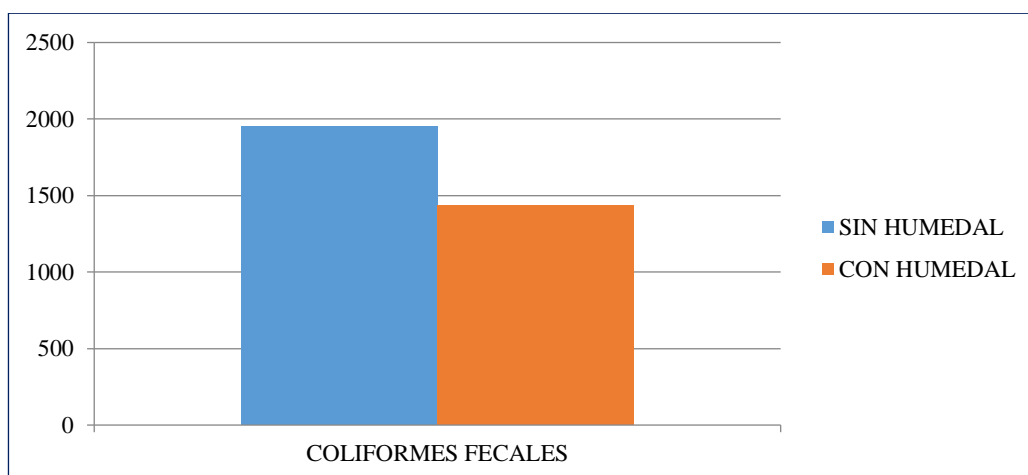


Figura 22: Comparación de los coliformes fecales. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

Se puede decir que se ha logrado remover gran cantidad de coliformes fecales, lo cual es inminente en la descripción y contrastación de este parámetro con los límites máximos permisibles los mismos que son menores de 10000 estando acorde y obteniendo un resultado de máxima eficiencia en el sistema de tratamiento.

3.5. Discusión de resultados.

Delgadillo, Camacho, Pérez & Andrade (2010), en su proyecto “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”, en Bolivia, nos da a conocer que el establecimiento de bacterias en el sistema, tanto en el sustrato como en las raíces de las plantas, ayuda a la remoción de la carga orgánica y de los nutrientes del agua residual que está bajo tratamiento. Los microorganismos son la parte principal del funcionamiento de los humedales artificiales, ya que de estos depende la eficiencia en la remoción de los contaminantes. Los compuestos orgánicos, nitrogenados y fosforados son transformados a formas más simples y, por lo tanto, más fáciles de eliminar del sistema. Es indudable que los humedales artificiales son ecosistemas que pueden ser utilizados para el tratamiento de aguas residuales de una manera segura, confiable, estética y económica. Así también en la presente investigación se ha podido notar la relevancia del sistema humedal en la demanda biológica, determinada e influenciada por el oxígeno disuelto, así también se determina que esta es eficiente en la remoción de otros parámetros, a los cuales, los reduce, oxida hasta disminuir su presencia como contaminante.

Arias y Brix (2003). En la investigación titulada: Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales; en la cual llego a una conclusión final donde determino que los humedales artificiales son una alternativa para la reducción de la contaminación generada por las aguas residuales y que si es posible tener buenos resultados en la depuración de aguas residuales domésticas, siempre y cuando el diseño y la operación del manual se ajuste a las características del agua residual y las condiciones climáticas del sitio; concluyendo que los humedales de flujo sub superficial logran mejores resultados en la remoción de contaminantes, operando dentro de un sistema, como tratamiento secundario o terciario, en la presente investigación se utilizó un humedal de flujo sub superficial, la misma que puede concluir de igual manera a esta, ya que es una gran alternativa de remoción de contaminantes que ha dado un buen resultado y que según el parámetro físico de la temperatura este tiene una gran influencia climática.

Díaz (2014), en la investigación titulada: Tratamiento de agua residual a través de humedales, en donde analizando las condiciones de carga hidráulica, tiempo de retención, cargas de DBO y DQO, e igualmente las remociones promedio como resultado de la actividad físico-química de la vegetación, el medio poroso y la actividad biológica. Presentando los humedales como una opción viable para el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, reduciendo los efectos adversos de los vertimientos sobre los medios receptores. En la presente investigación también se pretende demostrar los humedales como una solución viable para el tratamiento de agua, esta ha generado mejoras en la cantidades y presencias de demandas biológicas de oxígeno, pues sus condiciones y el lugar en el que se realizaron ayudaron a la mejora.

Islena (2010), indica en su monografía sobre humedales artificiales de flujo sub superficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Que el desarrollo del humedal artificial con plantas herbáceas, comprendió la selección de plantas acuáticas, pre-experimentación, diseño, construcción, puesta en marcha y funcionamiento del mismo, alcanzando finalmente una eficiencia en remoción del 63% en DBO con posibilidades de presentarse valores superiores, siempre y cuando se sigan las indicaciones de manejo del humedal propuestas. Con esto se mitigará la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de Carapongo – Lurigancho (Lima). Con este tipo de tratamiento a nivel doméstico y provincial, generamos situaciones ambientales de poca contaminación y de utilización vegetal en favor del mejoramiento integral del agua, pues conforme en la tesis se demostró la reducción del cloruro de sodio un compuesto salino, este también fácilmente podría eliminar ciertos metales como nos planteó esta antigua investigación.

García y Leal (2006). Los resultados obtenidos de este proyecto en la Región Amazonas determinan que el desarrollo y propagación del junco en el humedal artificial fue lenta después de tres meses de sembrado, con un incompleto desarrollo radicular en el suelo. La remoción de los parámetros en el humedal que se preparó con las plantas se dieron a notar en los Caracterización realizados el primer mes, el segundo fue aún mejor, aunque este haya sido inicial, donde se observa la mayor eficiencia, según la anterior investigación este debería tener renovaciones y monitoreo continuo, por lo cual se concuerda.

CONCLUSIONES

- Se diseñó el humedal artificial con un largo de 7 metros, ancho de 1.75 metros y una altura de material filtrante de 0.80 metros.
- Se caracterizó los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (temperatura, pH, turbiedad, sólidos suspendidos totales, DBO₅ y coliformes fecales), dando como resultado la turbiedad igual a 7.24 UNT, ph igual a 6.8, la temperatura 24.8°C , solidos totales suspendidos igual a 237.9 ppm , DBO₅ igual a 12 mg/l , y los coliformes fecales 1432 UFC/100ml
- Se determinó la remoción los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (temperatura, pH, turbiedad, sólidos suspendidos totales, DBO₅ y coliformes fecales) dando como resultado 74.57 % de turbidez respecto a la inicial, un 18.78 % ha bajado el pH, la temperatura también bajó un 0.8 % , los sólidos totales suspendidos han sido depurados hasta en un 50.07 % , se ha logrado aumentar el oxígeno disuelto hasta en un 37.9 % relacionado inversamente con la disminución del DBO₅ el cual llego hasta una remoción del 98%.
- La comparación de datos que emite los límites máximos permisibles con los datos emitidos de campo del humedal artificial indicaron que el que el método de depuración de aguas residuales si cumple con la normativa peruana.

RECOMENDACIONES

- Realizar la capacitación y concientización de la utilización de este tipo de sistemas naturales para el cuidado y mejoramiento de las aguas residuales domésticas a la población en general.
- Adaptar y asesorar a otras instituciones, que puedan necesitar el mejoramiento de sus aguas residuales antes de ser llevadas al alcantarillado.
- Realizar continuamente la operación y mantenimiento del humedal artificial sub superficial de flujo horizontal de la Base Contraterrorista N° 300 de Rioja.
- Pedir apoyo económico las autoridades, para generar conciencia y un mejoramiento al sistema que puede ser utilizado en diversas instituciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias (2010). *Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Vol. 74. Informe técnico. Colombia. Vol. 74
- Arias y Brix (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Colombia.
- BRIX, H. (1994). *Función de los humedales en el control de la contaminación en zonas rurales*. Diseño y uso de humedales artificiales.
- Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. (Proyecto HUMEDAL). Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- Díaz (2014). *Tratamiento de agua residual a través de humedales*. Universidad Santo Tomás Seccional Tunja. Bogotá. Colombia.
- Espigares, M. (1985), *Aspectos sanitarios de los estudios de las aguas*. Granada.
- Fernández, De Miguel, Curt (2004). *Manual de Fito depuración. Filtros de macrófitas en flotación*. Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- García (2009). *Habitantes del agua. Macrófitas*. Agencia Andaluza del Agua. España.
- García y Leal (2006). *Desarrollo de un humedal artificial piloto con especies no convencionales para mitigar la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de visitantes del parque nacional natural Amacayacu – Amazonas*. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Perú.
- Guadalupe y Llagas (2006). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 15, N° 17. Perú.

- Islena (2010). *Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales*. Documento presentado como requisito para optar el título de Tecnóloga Química. Escuela de Química. Facultad de Tecnologías. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Lara (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Lovera, Quipuzco & Laureano (2006). *Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Comunidad Urbana de Lacabamba, Región Ancash*. Obtenido de: [slideshare.net/janetross/humedales-artificiales-en-Lacabamba](https://www.slideshare.net/janetross/humedales-artificiales-en-Lacabamba). Perú.
- Metcalf-Eddy (1999) *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: labor, S.A.
- Ministerio de Agricultura (1996). “Zona Reservada de los Pantanos de Villa. Propuesta para su designación como sitio Ramsar” INRENA. Lima -Perú.
- Ministerio del Ambiente (2010). *Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales doméstica o municipales*. Diario El Peruano. Perú.
- MVCS- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2016). *El problema del saneamiento*. Lima. Perú.
- Navarro, Aguilar, López (2007). *Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas*. En: Revista Ecosistemas. Departamento de Biología Vegetal. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Niering, (1985). *Wetlands. The Audubon Society nature guides*. Alfred A. Knopf, Inc. Nueva York. Estados Unidos.

- Nriagu (1980). *Zinc in the environment. Part I, Ecological cycling*. New York. Estados Unidos.
- Osnaya (2012). *Propuesta de diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad de la Sierra Juárez*. Tesis para obtener el título de Licenciado en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez. Oaxaca. México.
- Pérez (2005). *Contaminación Ambiental: Una visión desde la Química*. Burgos Thomson Ediciones Paraninfo, S.A. España.
- RAMSAR, GLAND. (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971). Suiza: 4ta.edición. Gland. (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006.
- Rojas (2005). *Diversidad bacteriana en el perifiton de raíces de Eichhornia sp., Pistia sp., y Azolla sp., en un humedal artificial de la Universidad Earth*. Escuela de Biología. Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica.
- Romero (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. Revista internacional de contaminación ambiental, Vol. 25, Nº 03. Perú.
- Rossi (2010). *Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú*. Fondo Nacional del Ambiente. Perú.
- RODRÍGUEZ, P. (1997). *Vetiver una planta para el control de la erosión y la protección ambiental*. Segunda edición. El Limón, Maracay, Venezuela.: Editorial. Sociedad Conservacionista Aragua. P.2-12.
- Russell (2012). *Tratamiento de aguas residuales: un enfoque práctico*. Reverté. Barcelona. España.
- Soanez (1995). *Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa: manual para responsables medioambientales*. Ecología Industrial. Madrid. España.

UNESCO (2003). *Uso del agua en relación con la cantidad disponible. Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Obtenido de: www.unesdoc.unesco.org

Vélez y Paredes (2005). *Efecto de la adición de materia orgánica y tipo de flujo en la remoción de cromo y zinc mediante humedales*. Tesis Maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Colombia.

Villafranca (2009). *Diseño y evaluación de la implementación de un humedal artificial como sistema de tratamiento de las aguas residuales del colegio “Toni Real Vincens” en el AAHH El Milagro-Huanchaco, La Libertad*. Tesis de pregrado. Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Perú.

ANEXOS

ANEXO 1: Mediciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sin planta de tratamiento

AÑO	MES	PARAMETROS (SIN HUMEDAL)					
		TURBIDEZ	Ph	TEMPERATURA	STS	DBO5	COLIFORMES FECALES
2015	NOVIEMBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	DICIEMBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
2016	ENERO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	FEBRERO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	MARZO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	ABRIL	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	MAYO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	JUNIO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	JULIO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	AGOSTO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	SEPTIEMBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	OCTUBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	NOVIEMBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	DICIEMBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
2017	ENERO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	FEBRERO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	MARZO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	ABRIL	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	MAYO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	JUNIO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	JULIO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	AGOSTO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	SEPTIEMBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	OCTUBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	NOVIEMBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
	DICIEMBRE	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
2018	ENERO	28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00
PROMEDIO		28.51	8.36	25.00	476.50	650.00	1950.00

ANEXO 2: Mediciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con planta de tratamiento

AÑO	MES	PARAMETROS (CON HUMEDAL)					
		TURBIDEZ	Ph	TEMPERATURA	STS	DBO5	COLIFORMES FECALES
	NOVIEMBRE	7.21	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	DICIEMBRE	7.30	6.98	24.80	51.80	12.00	1432.00
2016	ENERO	7.24	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	FEBRERO	7.15	6.79	24.80	51.80	12.00	1432.00
	MARZO	7.45	6.98	24.80	51.80	12.00	1432.00
	ABRIL	7.24	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	MAYO	7.39	6.45	24.80	51.80	12.00	1432.00
	JUNIO	7.40	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	JULIO	7.28	6.54	24.80	51.80	12.00	1432.00
	AGOSTO	7.17	6.78	24.80	51.80	12.00	1432.00
	SEPTIEMBRE	7.20	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	OCTUBRE	7.21	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	NOVIEMBRE	7.39	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	DICIEMBRE	7.41	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
2017	ENERO	7.18	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	FEBRERO	7.31	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	MARZO	7.28	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	ABRIL	7.18	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	MAYO	7.10	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	JUNIO	7.28	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	JULIO	7.05	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	AGOSTO	7.17	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	SEPTIEMBRE	7.19	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	OCTUBRE	7.10	6.80	24.80	51.80	12.00	1432.00
	NOVIEMBRE	7.29	6.80	24.80	51.80	10.00	1432.00
	DICIEMBRE	7.34	6.80	24.80	51.80	10.00	1432.00
2018	ENERO	7.22	6.80	24.80	51.80	10.00	1432.00
PROMEDIO		7.25	6.79	24.80	51.80	11.78	1432.00

ANEXO 3: Panel fotográfico



Fotografía 1: Excavación manual



Fotografía 2: Excavación con maquinaria pesada



Fotografía 3: Culminación de excavaciones



Fotografía 4: Vista panorámica del humedal artificial



Fotografía 5: Colocación de cartón.



Fotografía 6: Instalación de plástico impermeabilizante



Fotografía 7: Material granular



Fotografía 8: Material granular



Fotografía 9: Instalación de tuberías



Fotografía 10: Tanques de inspeccion



Fotografía 11: Tubería de ingreso a humedal



Fotografía 12: Crecimiento de la planta herbacea juncus acutus



Fotografía 13: Planta herbácea Juncus Acutus



Fotografía 14: Tanque de inspección



Fotografía 15: Muestreo final a la salida del humedal artificial

ANEXO 4: Planos de la planta piloto

